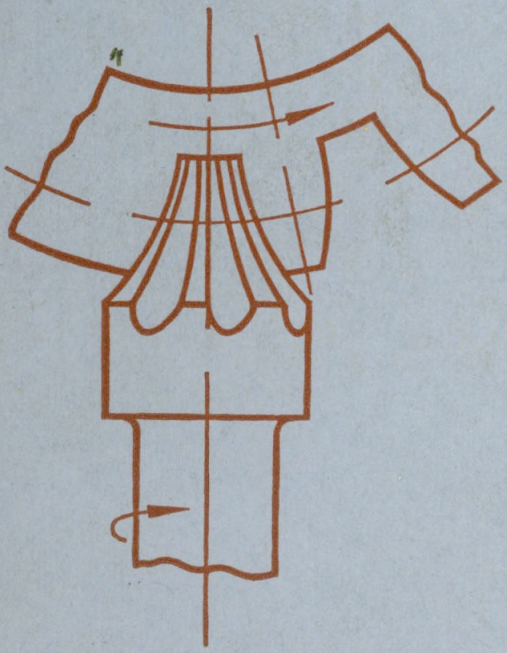
34.5
Д18

В. В. ДАНИЛЕВСКИЙ



ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

34.5
Д18

В. В. ДАНИЛЕВСКИЙ

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ
(ОБЩИЙ КУРС)

ИЗДАНИЕ ЧЕТВЕРТОЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

297165

Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебника
для машиностроительных техникумов

ADIB SOBIR TERMIZIY NOMIDAGI
SURXONDARYO VILOYATI AXBOROT
KUTUBXONA MARKAZI
Kel. № 297165 200 y.

Сурхандарьинская
ОБЛАСТНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Гоголя

МОСКВА «ВЫСШАЯ ШКОЛА» 1977

6П5.4
Д 17
УДК 621.7+621.9

Рецензент — старший преподаватель Московского приборостроительного техникума *В. С. Терган.*

Данилевский В. В.

Д 17 Технология машиностроения. Изд. 4-е, перераб. и доп. Учебник для техникумов. М., «Высш. школа», 1977.

479 с. с ил.

В книге изложены теоретические основы технологии машиностроения, принципы проектирования технологических процессов механической обработки, методы обработки типовых деталей машин, основы конструирования станочных приспособлений, методы сборки машин и механизмов, основы проектирования механических цехов.

Книга является учебником для студентов машиностроительных техникумов. Кроме того, она может быть использована работниками машиностроительных предприятий при решении практических задач.

$\text{Д}\frac{31201-369}{001(01)-77}$ 216—77

6П5.4

© Издательство «Высшая школа», 1977.

ПРЕДИСЛОВИЕ К ЧЕТВЕРТОМУ ИЗДАНИЮ

В основу переработки материалов книги для четвертого издания положены принципы, установленные государственными стандартами Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) — системы организации и управления процессом технологической подготовки производства, предусматривающей широкое применение прогрессивных типовых технологических процессов, стандартной технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов и инженерно-технических расчетов.

Значительную помощь автору при подготовке этого издания на основе утвержденной 3. XII. 74 г. программы по курсу «Технология машиностроения» для специальности «Обработка металлов резанием» оказали отзывы предметных комиссий и преподавателей ряда техникумов к третьему изданию, подготовленные по поручению Отдела учебников и учебных пособий Научно-методического кабинета по среднему специальному образованию, а также полезные советы рецензентов первого — третьего изданий — засл. деят. науки и техники РСФСР, проф., д. т. н. А. Н. Гаврилова, проф., д. т. н. Л. А. Глейзера и рецензента данного издания инженера В. С. Тергана.

Наряду с этим при подготовке материалов к четвертому изданию были использованы новые литературные данные, общесоюзные и отраслевые стандарты, а также результаты практических работ отдельных предприятий и научно-исследовательских организаций в области технологии машиностроения.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Развитию и формированию учебной дисциплины «Технология машиностроения» как прикладной науки предшествовал непрерывный прогресс машиностроения на протяжении последних двух столетий. Степень прогресса определяла интенсивность изучения производственных процессов, а следовательно, и научное их обобщение с установлением закономерностей в технологии механической обработки и сборки.

Производственные процессы в древние времена были примитивны. Оружие затачивали с помощью камней, обладающих шлифующими свойствами; вначале режущий инструмент удерживали в рабочем положении рукой, а в дальнейшем прикрепляли к рукоятке прутьями деревьев или сухожилиями животных. Одним из достижений того времени явилось применение вращающегося камня — прообраза заточного станка. В дальнейшем вращательное движение применили для изготовления керамических изделий, а в последующем — для изготовления изделий цилиндрической формы из дерева, костей животных и, наконец, из металла.

Наряду с устройствами, сообщающими движение режущему инструменту, применяли приспособления, передающие движение обрабатываемому материалу. Прообразом примитивного токарного станка явился лук, вращающий изделие при помощи тетивы, с ручным удерживанием кремневого резца. Постепенно был создан простейший тип токарного станка с конным приводом и по-прежнему ручным удерживанием режущего инструмента. Однако все попытки механизировать движение режущего инструмента ограничивались вращательными приспособлениями.

История возникновения металлообработки в России мало исследована, однако известно, что уже в X в. русские мастера-ремесленники обладали высокой техникой изготовления оружия, предметов домашнего обихода и т. п. Еще в XII в. русские оружейники применяли сверлильные и токарные устройства с ручным приводом и вращательным движением инструмента или обрабатываемой заготовки. В XIV—XVI вв. для изготовления оружия пользовались токарными и сверлильными станками с вращательным движением от водяной мельницы.

В XVI в. в селе Павлово на Оке и в окрестностях г. Тулы существовала металлообрабатывающая промышленность, основанная на использовании местной железной руды. Однако наиболее значительное развитие металлообрабатывающая промышленность получила во времена Петра I. Ремесленные мастерские превращались в фабрики и заводы, оборудованные машинами.

В этот период (1718—1725) русский механик и изобретатель А. К. Нартов создал для токарного станка механический суппорт, который с помощью зубчатого колеса и рейки перемещался вдоль обрабатываемой детали. А. К. Нартов не только усовершенствовал токарный станок, но и создал ряд других станков оригинальной конструкции (винторезный, зуборезный, пилонасекательный и др.).

Одним из выдающихся русских механиков был М. В. Сидоров, создавший в 1714 г. на Тульском оружейном заводе «вододействующие машины» для сверления оружейных стволов. В тот же период солдат Яков Батищев построил станки для одновременного сверления 24 ружейных стволов, станки для «обтирания» (зачистки) напильниками наружных и внутренних поверхностей орудийных стволов с помощью «водил» от мельничных приводов и др. Работы М. Сидорова и Я. Батищева продолжали мастера-механики XVIII и начала XIX в. А. Сурин, Я. Леонтьев, Л. Собакин, П. Захава и др.

К тому же времени относится деятельность гениального русского ученого М. В. Ломоносова (1711—1765), который построил лоботокарные, сферотокарные и шлифовальные станки. Изобретатель паровой машины И. И. Ползунов (1728—1764) построил для изготовления некоторых деталей парового котла специальные цилиндрорасточные и другие станки. Русский механик И. П. Кулибин (1735—1818) создал специальные станки для изготовления зубчатых колес часовых механизмов,

Первые шаги в механизации производственных процессов относятся также к этому времени. Так, И. И. Ползунов создал простейшее автоматическое устройство, в котором основным элементом являлся поплавок, плававший на поверхности жидкости. Изменение уровня жидкости заставляло поплавок опускаться или подниматься и тем самым производить те или иные действия посредством системы прикрепленных к нему рычагов.

В то время военная промышленность была единственной областью массового производства; она положила начало введению принципа взаимозаменяемости в технологию производства. Установлено, что первая инструкция по организации взаимозаменяемого производства была разработана в России и направлена на Тульский завод почти за 25 лет до первых опытов французского инженера Леблана и почти за 100 лет до съезда английских промышленников, где Джозеф Витворт сформулировал основные задачи взаимозаменяемости.

Вначале на Тульском оружейном заводе были применены медные калибры, а затем по указу Петра I — лекала для независимой обработки сопрягаемых деталей ружья. Известно, что успешному внедрению взаимозаменяемости содействовали русские лекальщики, изготовлявшие лекала и сложные калибры с высокой для того времени точностью и применявшие при изготовлении калибров искусственное старение.

В конце XIX и начале XX в. на некоторых предприятиях начали указывать на рабочих чертежах допуски на изготовление деталей.

Начало изучения технологических процессов, т. е. способов обработки заготовок, в результате которых получается готовое изделие, соответствующее по размерам, форме и качеству требованиям, предъявленным к его работе, относится к первым годам прошлого столетия. В 1804 г. акад. В. М. Севергин сформулировал первые положения о технологии и определил, что «технология — наука о ремеслах и заводах»*. В 1817 г. проф. Московского университета И. А. Двигубский издал книгу «Начальные основания технологии, как краткое описание работ на заводах и фабриках производимых».

Первым капитальным трудом, посвященным технологии металлообработки, является трехтомный труд проф. И. А. Тиме «Основы машиностроения. Организация машиностроительных фабрик в техническом и экономическом отношении и производство в них работ» (1885). Кроме того, теоретические основы технологии и металлообработки были изложены А. П. Гавриленко, создавшим курс «Технология металлов».

И. А. Тиме впервые сформулировал основные законы резания и установил правильное понимание сущности этого процесса как последовательного скалывания отдельных элементов металла. Его исследования легли в основу науки о резании металлов, которая получила наиболее широкое развитие в нашей стране после Великой Октябрьской социалистической революций. Советские инженеры и техники в содружестве с рабочими-новаторами решили важную проблему современного машиностроения — разработали и внедрили в производство резание с большими скоростями и подачами.

Советская станкоинструментальная промышленность создала станки различного технологического назначения и усовершенствованные конструкции режущего инструмента, обеспечивающие большую производительность и точность при обработке. Все это позволило советским ученым и инженерам создать основы закономерностей технологических процессов механической обработки.

К первым трудам по технологии машиностроения относятся работы А. П. Соколовского, вышедшие в 1930—1932 гг. Обобщением опыта автотракторной промышленности были «Основы проектирования технологических процессов» А. И. Каширина в 1933 г. и «Технология автотракторостроения» В. М. Кована в 1935 г. В 1933 г. Б. С. Балакшин провел теоретические исследования по технологии машиностроения, основные положения и выводы которых, разработанные им в «Теории размерных цепей», дали возможность технологам путем предварительных расчетов решать технологические задачи, обеспечивающие повышение точности изготовления машин.

Для создания теоретических основ технологии машиностроения большое значение имели работы Н. А. Бородачева по анализу качества и точности производства, К. В. Вотинова, осуществившего обширные исследования жесткости системы ста-

* В. М. Севергин. Технический журнал, т. I. СПб, 1804.

нок — приспособление — инструмент — деталь и ее влияния на точность механической обработки, А. А. Зыкова и А. Б. Яхина, положивших начало научному анализу причин возникновения погрешностей при обработке. В 1959 г. вышли «Основы технологии машиностроения» В. М. Кована, содержащие основные научные положения технологии машиностроения и методику технологических расчетов, общих для различных отраслей машиностроения.

Задачи экономии металла и повышения производительности при механической обработке теоретически обоснованы работами В. М. Кована по расчету припусков на обработку и Г. А. Шаумяна по основам расчета производительности обработки на автоматах и автоматических линиях и др.

Всеми этими и рядом других работ созданы предпосылки для развития технологии машиностроения как науки.

В технологии машиностроения используются теоретические и практические выводы связанных с ней смежных дисциплин: «Металлорежущие станки и инструменты», «Резание металлов», «Основы взаимозаменяемости и технические измерения» и др.

Высокие темпы роста производительности труда, предусмотренные в десятой пятилетке, будут достигнуты за счет интенсификации общественного производства, внедрения новой техники и прогрессивных технологических процессов, обеспечивающих дальнейшее повышение качества, надежности и долговечности продукции. Прогрессивное развитие науки — это основа и составная часть научно-технического прогресса. Наука во все большей степени выступает в качестве специфической производительной силы общества.

Но технический прогресс осуществляется не только на основе применения новых научно-технических достижений. Он базируется и на широком использовании уже определившихся направлений в развитии техники и характеризуется не только непрерывным появлением принципиально новых технологических процессов производства, но и непрерывной заменой существующих процессов более точными, производительными и экономичными.

В развитии промышленного производства в десятой пятилетке должны найти наиболее полное воплощение существенные черты научно-технической революции. Одной из сторон научно-технической революции является то, что человеку становится все более подвластным управление процессами, происходящими в сфере материального производства. Уже сейчас системы управляющих машин автоматизируют управление производством на предприятии, в отрасли, и в перспективе их внедрение будет способствовать оптимизации управления народным хозяйством в целом.

Одновременно с этим увеличатся мощности производства с переходом к массово-поточному, непрерывному, автоматизированному производству и использованию типовых прогрессивных технологических процессов, основанному на широком применении счетно-решающих устройств и механизмов программного управления.

Практическому осуществлению широкого применения прогрессивных типовых технологических процессов, оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации, соответствующих современным достижениям науки и техники, содействует Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), обеспечивающая для всех предприятий и организаций системный подход к оптимизации

выбора методов и средств технологической подготовки производства (ТПП). Единство структур и положений ТПП предусматривает взаимосвязь ее с другими функциональными подсистемами автоматизированных систем управления (АСУ) всех уровней с применением технических средств для обработки информации.

Технологическая подготовка производства (ТПП), осуществляемая на принципах, установленных основополагающими стандартами ЕСТПП, создает условия к максимальному сокращению сроков этой подготовки, быстрейшему освоению новой техники, всестороннему совершенствованию технологии и организации производства. Основными принципами ЕСТПП являются: запуск в производство изделий, отработанных на технологичность; широкое применение типовых технологических процессов, стандартизация и унификация оборудования, технологической оснастки и инструмента; автоматизация и механизация инженерно-технических и управленческих работ. Значительное место в решении этих задач занимает *технология машиностроения* — наука, устанавливающая определенные закономерности повышения производительности и экономичности технологических процессов обработки деталей и сборки машин.

Раздел первый
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Глава I
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕССЫ

§ 1. Определения и основные понятия

Технология (от греческого τέγνη — ремесло и λόγος — наука) машиностроения — наука, изучающая и устанавливающая закономерности протекания процессов обработки и параметры, воздействие на которые наиболее эффективно сказывается на интенсификации процессов и повышении их точности. Предметом изучения в технологии машиностроения является изготовление изделий заданного качества в установленном программой выпуска количестве при наименьших затратах материалов, минимальной себестоимости и высокой производительности труда. Процесс изготовления машин или механизмов состоит из комплекса работ, необходимых для производства заготовок, их обработки, сборки из готовых деталей составных частей (сборочных единиц) и, наконец, сборки из сборочных единиц (и отдельных деталей) готовых машин.

Совокупность всех действий людей и орудий производства, связанных с переработкой сырья и полуфабрикатов в заготовки, готовые детали, сборочные единицы и готовые изделия на данном предприятии, называется производственным процессом. В производственный процесс входят не только процессы, непосредственно связанные с изменением форм и свойств материала изготовляемых деталей и сборки из них машин и механизмов, но и все вспомогательные процессы, обеспечивающие производственный процесс в целом (транспортирование, изготовление и заточка инструмента, ремонт оборудования, технический контроль и т. д.).

Технологический процесс — часть производственного процесса, содержащая действия по изменению и последующему определению состояния предмета производства. Технологический процесс непосредственно связан с изменением размеров, формы или свойств материала обрабатываемой заготовки, выполняемым в определенной последовательности.

Технология производства складывается из ряда процессов, каждый из которых характеризуется определенными методами обработки и сборки. В структуру технологического процесса входят операции, состоящие в свою очередь из нескольких элементов. Так, для технологического процесса механической обработки основными элементами операции являются переход, рабочий ход, установ и позиция.

Под операцией понимают законченную часть технологического процесса, выполняемую на одном рабочем месте. Операция может осуществляться на одной или совместно на нескольких заготовках на одном рабочем месте одним рабочим или бригадой рабочих непрерывно (до перехода к следующей заготовке). В операцию входят как действия, непосредственно связанные с обработкой, так и необходимые вспомогательные приемы (переходы и ходы). На рис. 1, *а* приведена схема обработки центрального отверстия и выточки в заготовке, выполняемая последовательно несколькими инструментами на одном рабочем месте (станке), т. е. в одну операцию. Если это отверстие обрабатывать раздельно, т. е. сверлить на одном станке, а растачивать на другом, то обработка будет состоять из двух операций вместо одной.

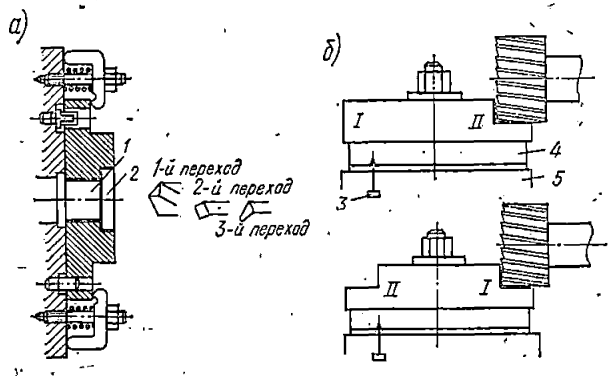


Рис. 1.

Переходом называется законченная часть операции, характеризуемая постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке. Показанная на рис. 1, *а* схема обработки отверстия осуществляется в три перехода: первый — сверление отверстия *1*, второй — растачивание отверстия *1* и третий — растачивание выточки *2*. Если бы отверстие *1* после сверления растачивалось предварительно начерно, а затем с изменением режима резания — начисто, то операция состояла бы из четырех переходов.

Вспомогательным переходом называется законченная часть операции, не сопровождаемая обработкой, но необходимая для выполнения данной операции (например, установка и снятие обработанной заготовки) или перехода и рабочего хода (замена инструмента, установка инструмента на стружку в начале рабочего хода, контрольный промер).

Рабочим ходом называется законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости поверхности или свойств заготовки.

Вспомогательным ходом называется законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента

относительно заготовки, не сопровождаемая изменением форм, размеров и шероховатости поверхности или свойств заготовки, но необходимого для выполнения рабочего хода.

Установ — часть операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемых заготовок или собираемой сборочной единицы. На рис. 1, *б* приведена схема обработки уступов заготовки детали с двух сторон (*I* и *II*). Рассмотрим случай, когда эти уступы обрабатывают последовательно, без поворотного приспособления: вначале обрабатывают уступ со стороны *I* или *II*, как в нашем случае; затем заготовку снимают, поворачивают и снова закрепляют, после чего обрабатывают уступ с другой стороны. Таким образом, эту операцию выполняют в два установа.

Позицией называется фиксированное положение, занимаемое неизменно закрепленной обрабатываемой заготовкой или собираемой сборочной единицей совместно с приспособлением относительно инструмента или неподвижной части оборудования для выполнения определенной части операции. Если применить поворотное приспособление, позволяющее изменять и фиксировать положение обрабатываемой заготовки без ее снятия, поворачивания и повторного закрепления, то в этом случае обработка уступов с двух сторон будет осуществляться позиционно, в данном случае — на двух позициях (на рис. 1, *б* приведена схема поворотного устройства: *3* — фиксатор, *4* — поворотная часть приспособления, *5* — основание).

§ 2. Характеристика типов производства

В машиностроении в зависимости от программы выпуска изделий и характера изготовляемой продукции различают три основных типа производства: единичное, серийное и массовое.

Единичное производство характеризуется широкой номенклатурой изготовляемых или ремонтируемых изделий и малым объемом их выпуска. На предприятиях с единичным производством применяют преимущественно универсальное оборудование с расположением его в цехах по групповому признаку (т. е. разбивкой на участки токарных, фрезерных, строгальных станков и т. д.). Технология производства характеризуется применением стандартного режущего и универсального измерительного инструмента.

Так как конструкции изготовляемых в единичном производстве машин нестабильны и подвергаются частым изменениям, то при обработке заготовок принципы полной взаимозаменяемости не соблюдаются (иначе потребовалось бы большое количество специальных измерительных средств, затраты на изготовление которых чрезмерно увеличили бы цеховые и общезаводские расходы производства), поэтому при сборке применяют подгоночные работы.

В целях предотвращения брака основные металлоемкие дорогостоящие детали изготовляют раньше, чем сопрягаемые с ними более дешевые детали, за счет которых компенсируются отклонения размеров основных деталей, возникающие при их обработке.

Серийное производство характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготовляемых или ремонтируемых периодически повторяющимися партиями, и сравнительно большим объемом выпуска. В зависимости от количества изделий в партии или серии и значения коэффициента закрепления операций различают мелкосерийное, среднесерийное и крупносерийное производство.

Значения коэффициентов закрепления операций — отношения числа всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца, к числу рабочих мест принимают для мелкосерийного производства от 20 до 40 включительно; для среднесерийного производства от 10 до 20 включительно, для крупносерийного производства от 1 до 10 включительно.

На предприятиях серийного производства значительная часть оборудования состоит из универсальных станков, оснащенных как специальными, так и универсально-наладочными (УНП) и универсально-сборными (УСП) приспособлениями, что позволяет снизить трудоемкость и удешевить производство. В условиях серийного производства представляется возможным расположить оборудование в последовательности технологического процесса для одной или нескольких деталей, требующих одинакового порядка обработки, со строгим соблюдением принципов взаимозаменяемости при обработке. При небольшой трудоемкости обработки или недостаточно большой программе выпуска изделий целесообразно обрабатывать заготовки партиями, с последовательным выполнением операций, т. е. после обработки всех заготовок партии на одной операции производить обработку этой партии на следующей операции. При этом время обработки на различных станках не согласовывается. Заготовки во время работы хранят у станков, а затем транспортируют целой партией.

В серийном производстве применяют также переменно-поточную форму организации работ. Здесь оборудование также располагают по ходу технологического процесса. Обработку производят партиями, причем заготовки каждой партии могут несколько отличаться размерами или конфигурацией, но допускают обработку на одном и том же оборудовании. В этом случае время обработки на данном станке согласовывается со временем обработки на последующем станке, поэтому движение заготовок данной партии осуществляется непрерывно, в порядке последовательности технологического процесса. Для перехода к обработке партий других деталей переналаживают оборудование и технологическую оснастку (приспособления и инструмент).

Массовое производство характеризуется узкой номенклатурой и большим объемом выпуска изделий, непрерывно изготовляемых или ремонтируемых в течение продолжительного времени. Коэффициент закрепления операций в этом типе производства принимают равным 1. Массовое производство характеризуется также установившимся объектом производства, что при значительном объеме выпуска продукции обеспечивает возможность закрепления операций за определенным оборудованием с расположением его в технологиче-

ской последовательности (по потоку) и с широким применением специализированного и специального оборудования, механизацией и автоматизацией производственных процессов при строгом соблюдении принципа взаимозаменяемости, обеспечивающего резкое сокращение времени, затрачиваемого на производство сборочных работ.

Высшей формой массового производства является производство непрерывным потоком, характеризуемое тем, что время выполнения каждой операции (технологической линии) равно или кратно времени по всему потому, что позволяет производить обработку без заделов в строго определенные промежутки времени.

Интервал времени, через который периодически производится выпуск изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения, называется тактом выпуска и подсчитывается по формуле

$$t = \Phi_э \cdot 60/П,$$

где $\Phi_э$ — эффективный фонд производственного времени рабочего места, участка или цеха; $П$ — годовая программа выпуска рабочего места, участка или цеха, шт.

Для выполнения операций, длительность которых не укладывается в установленный такт выпуска, используют дополнительное оборудование.

При непрерывном потоке передача с позиции на позицию (рабочее место) осуществляется непрерывно в принудительном порядке, что обеспечивает параллельное одновременное выполнение всех операций на технологической линии.

§ 3. Концентрация и дифференциация технологического процесса

Одну и ту же заготовку можно обрабатывать разными способами. Технологический процесс обработки заготовки может содержать небольшое количество операций с применением соответственно и небольшого количества оборудования, однако эта же заготовка может быть обработана на большем числе станков, с большим количеством операций, состоящих, как правило, из одного вида простейшей обработки. В первом случае количество переходов в операциях характеризует их сложность, насыщенность, т. е. *степень концентрации.*

Если количество переходов, выполняемых последовательно на станке, значительно, такую организацию работы называют *последовательной концентрацией* технологического процесса. Пример последовательной концентрации процесса показан на рис. 2, *а*, где рассмотрена обработка шестиступенчатого вала одним резцом за 14 переходов (восемь переходов при первом установе — продольное точение четырех шеек с подрезкой четырех уступов; шесть переходов при втором установе — продольное точение трех шеек с подрезкой трех уступов). Последовательность обработки этого вала за одну операцию характеризуется раздельным обтачиванием шести шеек с разбивкой обработки средней шейки на два отдельных перехода за два установа.

Если одновременно параллельно выполняют значительное число переходов в одной операции, то такую организацию работы называют

параллельной концентрацией технологического процесса. Параллельная концентрация технологического процесса связана с использованием многоинструментных станков (многорезцовых, многошпиндельных и т. п.), обеспечивающих высокую производительность; применение таких станков экономично при большом выпуске продукции. Пример параллельной концентрации показан на рис. 2, *б*, где рассмотрена обработка вала на многорезцовом станке одновременно восемью и шестью резцами за четыре установа при двух черновых и двух чистовых операциях (в двух установах при обработке левой части вала участвуют три резца на продольном и три резца на поперечном суппор-

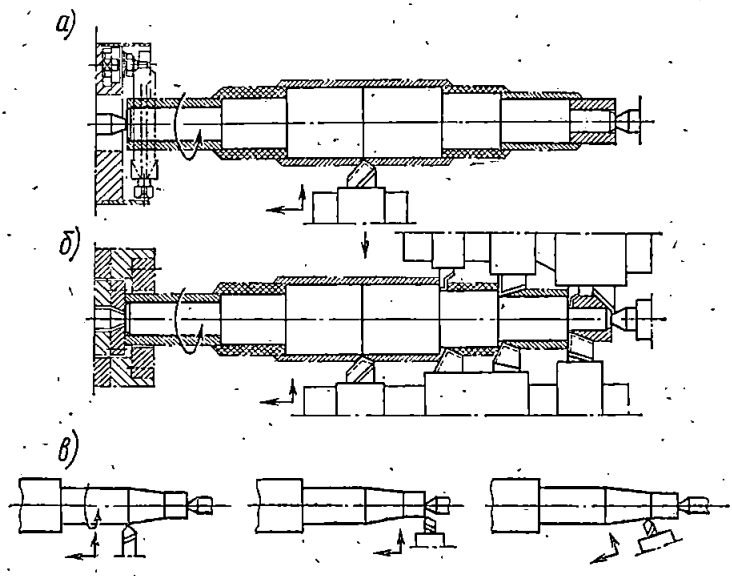


Рис. 2.

тах). Обработка цилиндрических поверхностей шеек вала, подрезка торцов, проточка канавок и снятие фасок совмещаются.

Если технологический процесс раздроблен на простейшие операции с небольшим числом переходов в каждой, то он называется *дифференцированным* технологическим процессом (рис. 2, *в*). Дифференциация технологического процесса применяется на отдельных этапах производства большого масштаба при недостаточном оснащении специальным оборудованием, отсутствии квалифицированных рабочих и др. В этом случае технологический процесс расчленяется на простейшие операции, преимущественно одноперехо́дные или двухпереходные, в частности при выполнении нетрудоемкой обработки простейших поверхностей (например, центровка валов, снятие фасок при доделке после обработки заготовок на автомате и т. д.). Степень дифференциации определяется рядом факторов: размерами и массой заготовки, объемом выпуска изделий, характером обработки, условиями и трудоемкостью закрепления заготовки на станке и т. д.

Глава II
ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

§ 4. Факторы, определяющие точность обработки

Под точностью обработки понимают степень соответствия изготовленной детали заданным размерам, форме и иным характеристикам, вытекающим из служебного назначения этой детали.

В большинстве случаев конфигурация деталей определяется комбинацией геометрических тел, ограниченных поверхностями простейших форм: плоскими, цилиндрическими, коническими и т. д. Можно установить следующие основные признаки соответствия изготовленной детали заданным требованиям: 1) точность формы, т. е. степень соответствия отдельных участков (поверхностей) детали тем геометрическим телам, с которыми они отождествляются; 2) точность размеров участков (поверхностей) детали; 3) точность взаимного расположения тех же участков поверхностей; 4) степень шероховатости поверхности, т. е. степень соответствия реальной шероховатой поверхности геометрической поверхности, представляемой идеально гладкой.

Форма обработанной поверхности является отображением кинематических схем обработки, каждой из которых соответствует своя обработанная поверхность. Размеры отдельных поверхностей и размеры, определяющие взаимное расположение поверхностей, *автоматически* станком не обеспечиваются. Получение точных размеров на станках автоматически требует применения особых методов работы и соблюдения ряда условий: наличия приспособлений, сравнительно сложной предварительной настройки станков и др. Исполнение размеров зависит от расположения режущей кромки инструмента относительно направляющих станка.

Точность взаимного расположения поверхностей зависит не только от работы станка, но и от положения обрабатываемой заготовки относительно станка, т. е. от ее установки.

Шероховатость поверхности определяется размерной характеристикой *микрогеометрических* неровностей, возникающих под влиянием пластических деформаций и других факторов, сопутствующих процессу резания.

Отклонения значений параметров реальной детали от заданных чертежом, характеризуют величину погрешности.

§ 5. Отклонения от формы и взаимного расположения плоских и цилиндрических поверхностей

Отклонения от формы и взаимного расположения поверхностей подразделяются на: 1) отклонения от правильной цилиндрической формы в поперечном сечении — некруглость, а в продольном — бочкообразность, седлообразность, изогнутость, конусообразность; 2) отклонения от плоской поверхности — непрямолинейность, неплоскостность, вогнутость, выпуклость; 3) отклонения от правильного

взаимного расположения поверхностей — несоосность, радиальное биение, торцевое биение, непараллельность осей, неправильное расположение пересекающихся осей, непараллельность и неперпендикулярность плоскостей.

Отклонения от формы. *Некруглость* (отклонение от круглости) — наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности. Некруглость характеризует совокупность

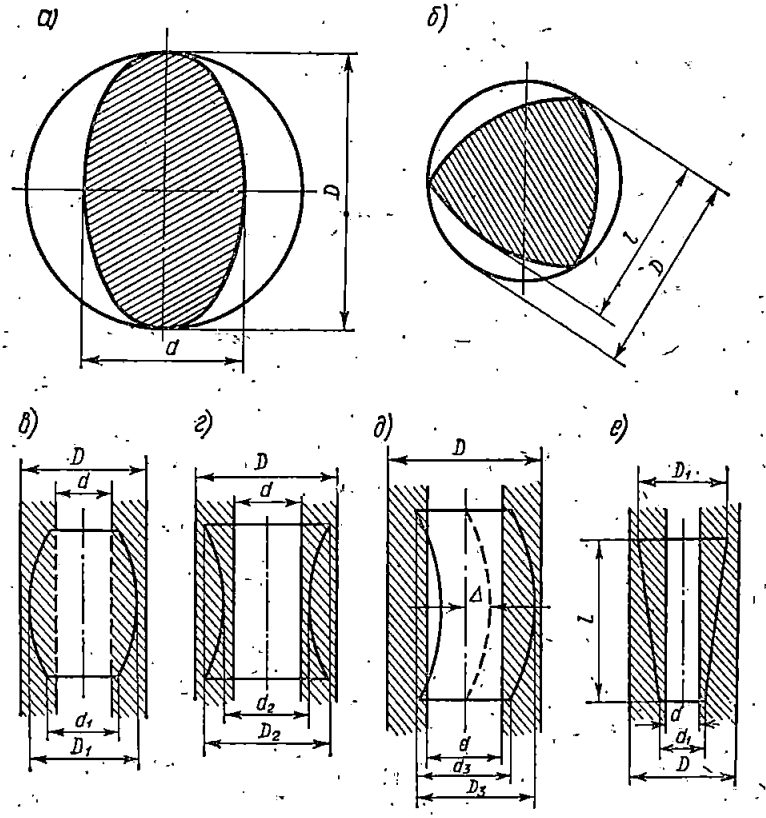


Рис. 3.

всех отклонений формы поперечного сечения цилиндрической поверхности элементарными видами некруглости — овальностью и огранкой. *Овальность* характеризуется разностью наибольшего и наименьшего диаметров в одном поперечном сечении (рис. 3, *а*): $\Delta = D - d$.

Допуск на овальность в некоторых случаях может превышать допуск по диаметру, например при обработке тонкостенных втулок, деформирующихся после обработки, но принимающих затем правильную форму при сборке. В таких случаях за отклонение по диаметру принимают отклонение полусуммы наибольшего и наименьшего диаметров, полученных при измерении.

Огранкой называется разность между диаметром окружности, в которую полностью вписывается контур сечения, и расстоянием между параллельными плоскостями, касательными к поверхности детали (рис. 3, *б*): $\Delta = D - l$.

Огранка отличается тем, что контур поперечного сечения детали составлен из сопряженных дуг разных радиусов.

Бочкообразность (рис. 3, *в*) и *седлообразность* (рис. 3, *г*) характеризуются разностью диаметров средних и крайних сечений детали: $\Delta = D_1 - d_1$; $\Delta = D_2 - d_2$.

Изогнутость — непрямолинейность геометрического места центров поперечных сечений цилиндрической поверхности — определяется стрелкой прогиба оси цилиндра или его образующих (рис. 3, *д*): $\Delta = D_3 - d_3$.

Конусообразностью называется отклонение от параллельности образующих, определяемое отношением разности диаметров двух

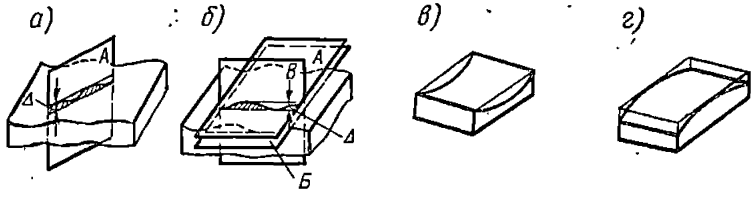


Рис. 4.

поперечных сечений детали к расстоянию между ними (рис. 3, *е*): $\Delta = (D_1 - d_1)/l$.

Отклонение от плоской поверхности. *Непрямолинейность* определяется сечением плоскости в заданном направлении нормальной к ней плоскостью *А* и выражается как расстояние Δ между прямыми, где помещается профиль сечения проверяемой поверхности (рис. 4, *а*).

Неплоскостность определяется расстоянием Δ между двумя взаимно параллельными плоскостями *А* и *Б*, между которыми располагается профиль сечения проверяемой поверхности нормальной к ней плоскостью *В* (рис. 4, *б*).

Элементарными видами непрямолинейности и неплоскостности являются вогнутость и выпуклость.

Вогнутость (рис. 4, *в*) — отклонение, при котором удаление точек профиля от прилегающей плоскости увеличивается от краев к середине.

Выпуклость (рис. 4, *г*) — отклонение, при котором удаление точек профиля от прилегающей плоскости уменьшается от краев к середине.

Отклонения от взаимного расположения поверхностей. *Непараллельность* (отклонение от параллельности) *плоскостей* — разность наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающими плоскостями на заданной площади или длине (рис. 5, *а*).

Непараллельность (отклонение от параллельности) *прямых в плоскости* — разность наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающими прямыми на заданной длине (рис. 5, *б*).

Непараллельность (отклонение от параллельности) *осей поверхностей вращения* (или прямых в пространстве) — непараллельность проекций осей на их общую теоретическую плоскость, проходящую через одну ось и одну из точек другой оси (рис. 5, *в*).

Перекос осей (или прямых в пространстве) — непараллельность проекций осей на плоскость, перпендикулярную общей теоретической плоскости и проходящую через одну из осей (рис. 5, *в*).

Непараллельность (отклонение от параллельности) *оси поверхности вращения* и *плоскости* — разность наибольшего и наименьшего расстояний между прилегающей плоскостью и осью поверхности вращения на заданной длине (рис. 5, *г*).

Неперпендикулярность (отклонение от перпендикулярности) *плоскостей, осей* или *оси* и *плоскости* — отклонение угла (Δ, рис. 5, *д*) между плоскостями, осями или осью и плоскостью от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах на заданной длине L. Отклонение от перпендикулярности определяют от прилегающих поверхностей или линий.

Торцевое биение — разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной торцевой поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра, до плоскости, перпендикулярной базовой оси вращения (рис. 5, *е*). Если диаметр не задан, то торцевое биение определяется на наибольшем диаметре торцевой поверхности.

Торцевое биение является результатом неперпендикулярности торцевой поверхности к базовой оси и отклонений формы торца по линии измерения.

Несоосность (отклонение от соосности) *относительно базовой поверхности* — наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности и осью базовой поверхности на всей длине рассматриваемой поверхности или расстояние между этими осями в заданном сечении (рис. 5, *ж*).

Несоосность (отклонение от соосности) *относительно общей оси* — наибольшее расстояние от оси рассматриваемой поверхности до общей оси двух или нескольких номинально соосных поверхностей вращения в пределах длины рассматриваемой поверхности (рис. 5, *з*).

Общей осью двух или нескольких поверхностей при определении соосности калибром является ось калибра (несоосностью ступеней калибров в данном определении пренебрегают).

За общую ось двух поверхностей при определении соосности универсальными средствами измерения принимается прямая, проходящая через эти оси в средних сечениях рассматриваемых поверхностей.

Радиальное биение — разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до базовой оси вращения

AUB SORIR TERMIZIY OBLASTI
SURXONDARYO VILOYATI AXBOROT
KUTUBXONA MARKAZI
Kol. № 76564
200 8 y.
Сурхандарьинская
ОБЛАСТНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Гоголя

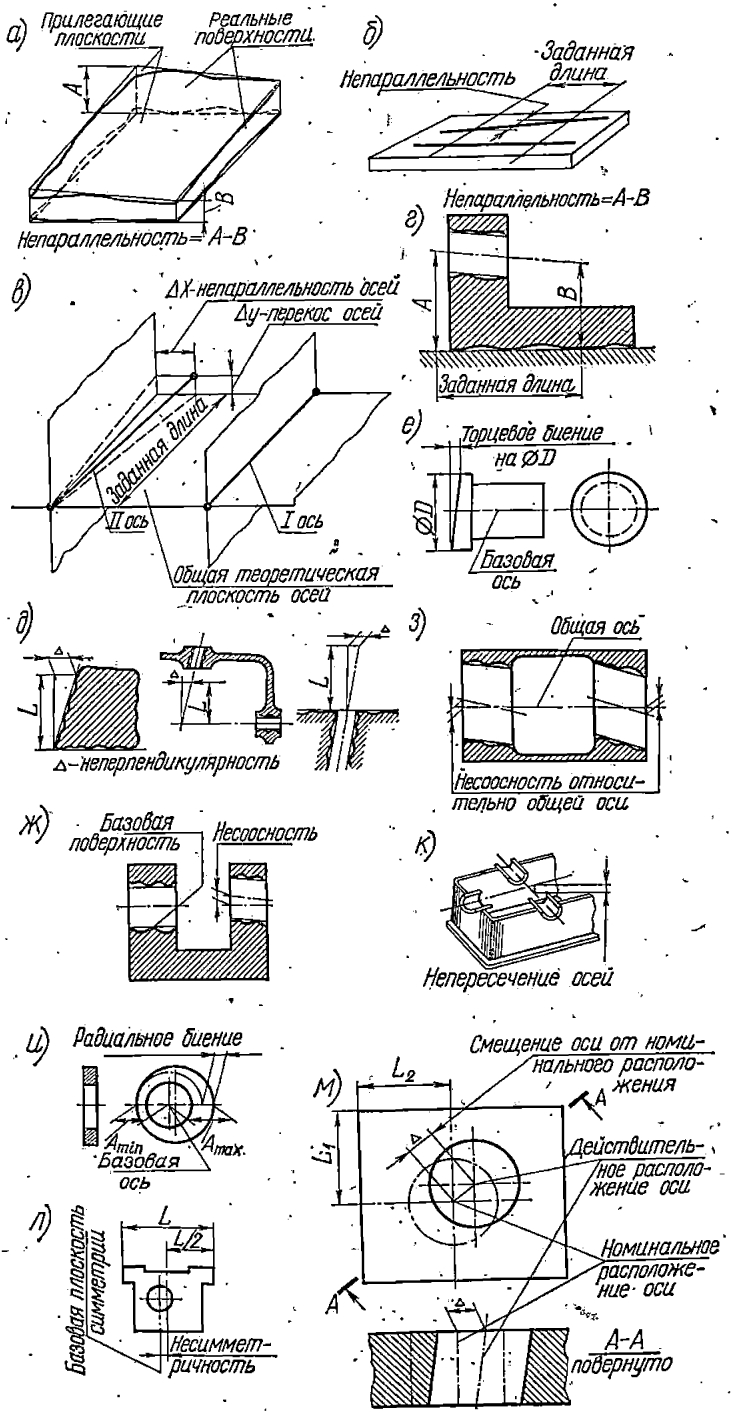

а)
Прилегающие плоскости
Реальные поверхности
A
B
Непараллельность=A-B
б)
Заданная длина
Непараллельность
Непараллельность=A-B
г)
A
B
Заданная длина
в)
ΔX-непараллельность осей
Δy-перекос осей
Заданная длина
II ось
I ось
Общая теоретическая плоскость осей
е)
Торцевое биение на ØD
ØD
Базовая ось
д)
L
Δ-неперпендикулярность
з)
Общая ось
Несоосность относительно общей оси
ж)
Базовая поверхность
Несоосность
к)
Непересечение осей
и)
Радиальное биение
A_{min}
A_{max}
Базовая ось
л)
L
L/2
Базовая плоскость симметрии
Несимметричность
м)
L_2
L_1
Смещение оси от номинального расположения
Действительное расположение оси
Номинальное расположение оси
A
A-A повернуто

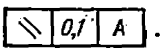
Рис. 5.

в сечении, перпендикулярном этой оси (рис. 5, *и*, $A_{max} - A_{min}$). Радиальное биение является результатом смещения центра (эксцентриситета) рассматриваемого сечения относительно оси вращения (эксцентриситет вызывает вдвое большее по величине радиальное биение) и некруглости.

Непересечение осей (отклонение от пересечения) — кратчайшее расстояние между осями, номинально пересекающимися (рис. 5, *к*).

Несимметричность (отклонение от симметричности) — наибольшее расстояние между плоскостью симметрии (осью симметрии) рассматриваемой поверхности и плоскостью симметрии (осью симметрии) базовой поверхности (рис. 5, *л*).

Смещение оси (или плоскости симметрии) *от номинального расположения* — наибольшее расстояние между действительным и номинальным расположениями оси (или плоскости симметрии) по всей длине рассматриваемой поверхности (рис. 5, *м*).

Предельные отклонения формы и взаимного расположения поверхностей по ГОСТ 10356—63 указывают на чертежах условными обозначениями или в технических требованиях. При условном обозначении данные о предельных отклонениях формы и взаимного расположения поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на две или три части: в первой части помещают условное обозначение отклонения, во второй — предельное отклонение (мм) и в третьей — буквенное обозначение базы или другой плоскости, к которой относится отклонение, например 

.

Нормы точности металлорежущих станков по действующим стандартам (ГОСТ) характеризуются наибольшими допускаемыми отклонениями от формы и расположения поверхностей обрабатываемых заготовок. Эти нормы следует понимать как предельно достижимые при выполнении чистовых операций на новом станке или на станке, находящемся в эксплуатации непродолжительное время. Показатели точности, получаемые при различных видах обработки с учетом износа оборудования и приспособлений, погрешностей базирования и других факторов, обычно находятся ниже этих пределов и характеризуют *экономически достижимую точность* обработки.

Экономически достижимая точность обработки поверхности характеризуется величиной затрат, необходимых для применения данного способа обработки, которые не должны превышать затрат при любом другом способе, пригодном для обработки этой же поверхности. В качестве примеров можно привести данные об экономически достижимой степени точности геометрической формы деталей при обработке на различных станках (табл. 1).

Точность геометрической формы и расположения поверхностей характеризуется предельными отклонениями, назначаемыми при наличии особых требований, возникающих из условий работы, изготовления или измерения деталей. В остальных случаях отклонения формы и расположения поверхностей должны находиться в пределах поля допуска соответствующего размера.

Таблица 1. **Нормы точности станков на овальность и конусообразность**

Наименование станков	ГОСТ	Максимальный диаметр изделия, мм	Допускаемые отклонения, мм		Примерные степени точности по ГОСТ 10356—63	
			овальность	конусообразность	овальность	конусообразность
Координатно-расточные	18098—72	200	0,003	—	2 (1)	—
Круглошлифовальные	11654—72	200	0,004	0,007 : 500	3...2 (1)	4...3
Хонинговальные	2041—69	120	0,005	0,01 : 300	4...3 (2)	5 (4)
Внутришлифовальные	25—72	До 200	0,003	0,005	2 (1)	3 (2)
		Св. 200 до 400	0,004	0,006	2 (1)	3 (2)
Алмазно-расточные	594—67	200	0,005	0,01 : 300	3 (1)	5...4
Токарные повышенной точности	18097—72	50	0,005	0,01 : 150	4 (3)	6...5
Токарные общего назначения		400	0,01	0,1 : 100	4 (3)	9 (8)
Автоматы многошпиндельные	43—73	—	0,01*	0,02**	5...6	7
		—	0,015***	0,03****	—	—
Полуавтоматы многошпиндельные	16472—70	100	0,02	—	7...6 (5)	—
Горизонтально-расточные	2110—72	90	0,02	0,03	7...6	8...7
Токарно-револьверные	17—70	12	0,007	0,007	6...5	6...5
	—	12...32	0,01	0,01	—	—

Примечание. В скобках указаны достижимые степени точности формы поверхностей.

* При диаметре до 2,5 мм.
** При диаметре до 25 мм и длине 30 мм.
*** При диаметре от 25 до 65 мм.
**** При диаметре от 25 до 65 мм и длине 75 мм.

ГОСТ 10356—63 установлены 10 степеней точности * и соответствующие этим степеням (в зависимости от номинальных длин и диаметров) величины предельных отклонений формы и расположения поверхности. Так, предельные отклонения от плоскости и прямолинейности для длин от 10 до 60 мм составляют для 1-й степени точности 0,4 мкм, а для 10-й — 40 мкм, предельные значения отклонений формы цилиндрических поверхностей для диаметров от 18 до 50 мм составляют для 1-й степени точности 0,6 мкм, для 10-й степени точности 40 мкм и предельные значения радиального биения для тех же диаметров и степеней точности — соответственно 2 и 120 мкм.

§ 6. Точность станков, инструмента и приспособлений

На точность обработки существенно влияет ряд факторов, являющихся следствием движения режущей кромки инструмента по обрабатываемой поверхности, выполняемого в соответствии с кинематикой станка. В результате некоторого несоответствия действительных движений заготовки и инструмента движениям, предусмотренным кинематической схемой станка, возникает п о г р е ш н о с т ь о б р а б о т к и.

При использовании автоматических подач погрешность обработки не зависит от действий рабочего, а определяется свойствами станка, инструмента и обрабатываемых заготовок и характеризует тем самым *погрешность работы станка*. Погрешность работы станка, не зависящая от нагрузки, возникает вследствие неточности кинематической схемы станка и его отдельных узлов.

В состав погрешности обработки входит также погрешность, возникающая от неправильности взаимного расположения инструмента и заготовки в начале перехода, а также от неточности регулировки упоров и остановов. Этот вид погрешности называется *погрешностью настройки*.

Погрешность обработки — это следствие ряда причин, основными из которых являются: неточность кинематической схемы станка; геометрическая неточность станка в ненагруженном состоянии; неточность режущего инструмента; износ режущего инструмента; деформация упругой системы станок — приспособление — инструмент — деталь; температурные деформации узлов станка, обрабатываемой заготовки и режущего инструмента; остаточные деформации заготовки; неточность измерений в процессе обработки; неточность настройки на размер.

Стандарты на нормы точности станков определяют методы проверки точности. Однако эти нормативы относятся к погрешностям станка, поэтому для определения погрешностей заготовок и деталей, являющихся следствием погрешностей станка, необходимо производить пересчеты. Так, «извернутость» направляющих станин приводит к смещению суппорта и соответствующему смещению резца в горизонтальном направлении (рис. 6).

* Для отклонений от параллельности, перпендикулярности и по торцевому биению предусмотрено 12 степеней точности.

Обозначая величину извернутости станины через δ, а вызванное ею смещение резца — через l, получаем

$$l = \delta h/b,$$

где h — высота центров, мм; b — расстояние между осями направляющих станины, мм.

Наряду с этим извернутость направляющих станины вызывает погрешность формы обрабатываемой заготовки на участке, соответствующем длине извернутости станины.

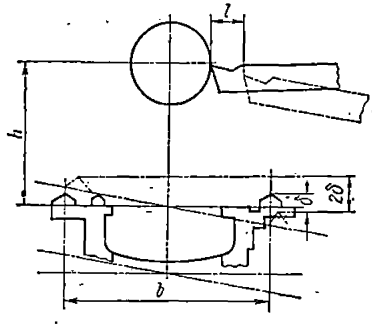


Рис. 6.

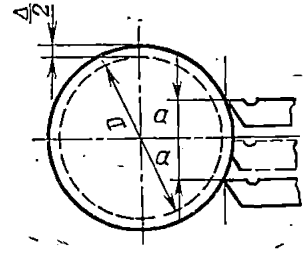


Рис. 7.

При смещении резца на величину a вверх или вниз относительно оси станка (рис. 7) диаметр D заготовки увеличивается на величину

$$\Delta = 2a^2/D.$$

Например, при смещении резца на 0,3 мм и диаметре обрабатываемой заготовки 30 мм погрешность от смещения резца (по диаметру) составляет

$$\Delta = 2 \cdot 0{,}3^2/30 = 0{,}006 \text{ мм}.$$

Такое же смещение в направлении, нормальном к обрабатываемой поверхности, приводит к погрешности, величина которой 0,6 мм, т. е. в 100 раз больше.

Биение вращающихся центров станка приводит к биению обрабатываемых поверхностей заготовки относительно оси центральных отверстий. При перестановке обработанной заготовки на другой станок с другой величиной биения центров может возникнуть несоосность заготовок, обработанных при разных условиях. Обработка в неподвижных центрах исключает биение и обеспечивает соосность поверхностей заготовки при обработке в несколько установок. Изменение положения оси вращения шпинделя приводит к овальности обрабатываемой заготовки.

На точность обработки существенно влияет правильность установки самого станка, так как отклонение от геометрической точности станка приводит к погрешности обработки. Точность обработки зависит также от точности изготовления режущего инструмента, которая в процессе эксплуатации снижается ввиду износа, искажающего как

форму, так и размеры инструмента. Кроме того, на точность обработки заготовки влияют погрешность изготовления приспособлений как в ненагруженном состоянии, так и в процессе работы, а также износ элементов приспособлений (например, кондукторных втулок).

§ 7. Жесткость системы станок — приспособление — инструмент — деталь

Под влиянием силы резания, приложенной к звеньям упругой системы станок — приспособление — инструмент — деталь (СПИД), возникает деформация этой технологической системы. Способность названной системы противостоять действию силы, вызывающей деформации, характеризует ее жесткость. На точность обработки влияют преимущественно те деформации системы, которые изменяют расстояние между режущей кромкой инструмента и обрабатываемой поверхностью, т. е. деформации, направленные нормально к обрабатываемой поверхности.

Жесткостью системы станок — приспособление — инструмент — деталь называют отношение радиальной силы, направленной перпендикулярно обрабатываемой поверхности, к смещению режущей кромки инструмента относительно обрабатываемой поверхности заготовки в том же направлении. Жесткость системы j (кгс/мм) равна

$$j = P_y/y,$$

где P_y — радиальная сила, кгс; y — величина смещения режущей кромки инструмента, мм.

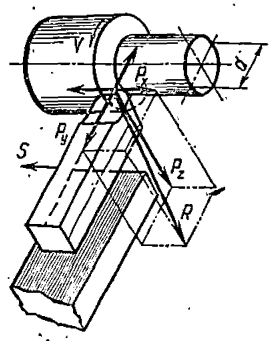


Рис. 8.

Следует иметь в виду, что сила резания P_z (тангенциальная сила), а в ряде случаев и P_x (осевая сила) также влияют на жесткость упругой системы. Так, например, жесткость суппорта токарно-винторезного станка при одновременном действии сил P_y и P_x оказывается более высокой, чем при действии только силы P_y; при нагружении передней и задней бабки сила P_z уменьшает их жесткость.

На рис. 8 приведена схема сил, действующих в звеньях упругой системы СПИД. Если бы под действием этих сил система станок — приспособление — инструмент — деталь не деформировалась, то заготовка после обработки имела бы правильную геометрическую форму диаметром d. Однако под действием сил P_z, P_y, P_x упругая система подвергается деформации, в результате чего диаметр заготовки после обработки будет отличным от заданного на величину Δd (где Δd характеризует величину погрешности заданного размера d). Величина этой погрешности тем больше, чем больше действующие в процессе обработки силы P_z, P_y и P_x.

В различных точках обрабатываемой поверхности жесткость системы различна, так же как и жесткость станка, инструмента и приспособления различна в этих же точках. Следовательно, понятие жест-

кости распространяется и на отдельные звенья системы. Так, под *жесткостью станка* понимают способность узлов станка противостоять действию сил деформации, причем заготовку и инструмент в этом случае принимают абсолютно жесткими. Под *жесткостью инструмента* или *приспособления* понимают способность того или другого противостоять действию сил деформации при абсолютно жестких станке и заготовке. В зависимости от условий работы при расчете деформаций учитывают не только силы P_z, P_y и P_x, но и массу (весовые характеристики) обрабатываемых заготовок, влияние заготовок и приспособлений при перемещении движущихся частей станка, а также влияние центробежных сил неуравновешенных вращающихся частей станка. *Жесткость обрабатываемых заготовок* определяется обычно по формулам, приводимым в курсах «Сопротивление материалов».

Достаточная жесткость режущего инструмента является непременным условием применения производительных режимов резания, тогда как низкая жесткость приводит к необходимости снижать режимы во избежание роста погрешности обработки. Деформации режущего инструмента особенно сказываются при растачивании глубоких отверстий, где расточные скалки с консольным расположением являются наиболее слабым звеном системы. Жесткость приспособлений также сильно влияет на точность обработки, поэтому, как правило, следует производить расчет приспособлений на деформации по обычной схеме.

Для облегчения расчетов жесткости системы СПИД введено понятие податливости W (мм/кгс или мкм/кгс) системы, под которой понимают величину, обратную жесткости:

$$W = 1/j \quad \text{или} \quad W = 1000/j.$$

Тогда величина смещения режущей кромки инструмента y в микрометрах (мкм) составит

$$y = (P_y/j)1000 = P_y W.$$

Если исходить из определения жесткости всех звеньев системы СПИД и ее элементарных связей на основе податливости, то общая формула для расчета жесткости системы будет иметь вид

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + \ldots + W_n.$$

Заменяя значения податливости значениями жесткости, получаем формулу

$$1/j = (1/j_1) + (1/j_2) + (1/j_3) + (1/j_4) + \ldots + (1/j_n).$$

Жесткость станка можно определить статическим методом, т. е. нагружением узлов неработающего станка, и производственным методом — путем испытания на жесткость работающего станка. Статический метод заключается в постепенном нагружении узлов станка силами, соответствующими тем, которые возникают в процессе работы станка, с производством замеров деформаций. При производственном методе испытания на жесткость проводят в процессе обработки заготовки с разной глубиной резания и неиз-

менными остальными элементами режима резания, Обработку ведут на коротких участках, после чего измеряют высоту уступа на обработанной поверхности. Разница величин уступов является следствием различного отжатия заготовки, обусловленного глубиной резания. Чем меньше отжатие детали, тем меньше погрешность, тем выше жесткость станка или жесткость технологической системы (деформацией заготовки при испытании пренебрегают). Таким образом, высокая жесткость системы СПИД является одним из основных условий обеспечения высокой точности обработки.

Повышение жесткости технологической системы содействует уменьшению вибраций ее звеньев и, следовательно, позволяет повышать режимы резания, не снижая точности обработки.

§ 8. Влияние на точность обработки температуры и других факторов

В процессе резания звенья технологической системы нагреваются, что приводит к возникновению *температурных погрешностей*. Так, вследствие выделения теплоты резания нагревается режущий инструмент и, следовательно, удлиняется его режущая часть. Часть резца у вершины нагревается значительно быстрее, чем остальная, поэтому температура в разных точках резца различна, что приводит к температурным деформациям.

При работе станка возникает теплота трения, которая частично нагревает детали станка, прилегающие к местам выделения теплоты, и частично поглощается окружающей средой. Изменение теплосодержания станка вызывает медленные температурные деформации ввиду больших масс частей станка.

На точность обработки влияют температурные деформации, направленные по нормали к обрабатываемой поверхности. У токарно-винторезного станка нагревается главным образом передняя бабка вследствие теплоты трения в подшипниках и зубчатых передачах. Задняя бабка, суппорт и станина нагреваются незначительно, и их температурные деформации несущественно влияют на точность обработки.

В процессе резания нагревается также обрабатываемая заготовка; при равномерном нагреве изменяются ее размеры при неизменности формы; при неравномерном нагреве изменяется также и форма заготовки. Температура нагрева обрабатываемой заготовки зависит от количества теплоты, поступающей в заготовку, ее массы, удельной теплоемкости материала заготовки, режима резания. Чем больше масса обрабатываемой заготовки, тем меньше она подвержена температурным деформациям.

Чистовая обработка заготовки непосредственно после черновой может привести к уменьшению размеров заготовки против заданных, так как нагрев при обработке со снятием больших припусков и последующее охлаждение приводят к температурным деформациям. Наибольшие температурные деформации возникают при обработке с большими припусками тонкостенных заготовок.

Температурные деформации звеньев системы СПИД зависят также от длительности работы станка и периодичности включений — остановов, причем температурные деформации возрастают и убывают неравномерно: непосредственно при изменении режима — ускоренно, а затем замедленно, до наступления температурного равновесия. В дальнейшем температурные деформации остаются неизменными. Периодичность работы станка снижает температурные деформации.

На точность обработки большое влияние оказывает также *размерный износ* режущей кромки инструмента в направлении нормали к обрабатываемой поверхности, зависящий от пути, пройденного инструментом, т. е. пути резания.

Зная стойкость инструмента T (мин), можно определить путь резания $l_р$ (м), соответствующий этой стойкости,

$$l_р = vT,$$

где v — скорость резания, м/мин.

Характеристикой интенсивности размерного износа является *относительный износ* $u_о$ (мкм), т. е. размерный износ u (мкм), отнесенный к 1000 м пути резания,

$$u_о = 1000u/l_р.$$

На относительный износ существенно влияет скорость резания. Так, в зоне низких скоростей (до 50 м/мин) относительный износ чрезвычайно велик (> 150 мкм); при возрастании скорости резания относительный износ уменьшается, достигая минимума при определенном оптимальном значении (> 50 м/мин). Дальнейшее возрастание скорости резания приводит к увеличению относительного износа. Толщина и ширина стружки меньше влияют на относительный износ, чем скорость резания, однако увеличение подачи и глубины резания приводит к некоторому повышению относительного износа ($\approx 20\%$). Из геометрических элементов резца наибольшее влияние на размерный износ оказывает задний угол α, увеличение которого с 8 до 15° при больших скоростях резания вызывает уменьшение относительного износа на 30%. Наряду с этим на величину относительного износа влияют механические свойства обрабатываемого материала: чем выше твердость, тем ниже оптимальная скорость резания и тем выше относительный износ.

Следует иметь в виду, что в начале работы резец изнашивается значительно интенсивнее, чем в дальнейшем; интенсивность изнашивания зависит от качества заточки и доводки резца. Начальный износ, например, при точении можно учесть, прибавляя к пути резания $l_р$ длину $l_н$ (500...1500 м) в зависимости от качества доводки режущей кромки. Тогда размерный износ (мкм), соответствующий пути резания $l_р$, может быть определен по следующей формуле:

$$u = [(l_р + l_н)/1000]\, u_о.$$

На точность обработки влияют также внутренние напряжения материала обрабатываемой заготовки, возникающие при последовательном снятии напряженных слоев металла в процессе обработки.

§ 9. Рассеивание размеров обрабатываемых заготовок и законы распределения размеров

Размеры двух любых деталей, взятых из одной партии, различны. Измеряя детали одной партии, изготовленные в одинаковых условиях, можно установить максимальное значение разности их размеров. Величина этого значения называется полем рассеивания размеров. Она характеризует точность выбранного метода обработки для данных производственных условий.

Неточность обработки поверхностей обрабатываемых заготовок является результатом влияния различных факторов, которые вызывают погрешности. Теорией и практикой технологии машиностроения установлено, что действие этих факторов характеризуется полем рассеивания размеров и *законом распределения размеров* (кривая распределения и характеризующие ее параметры). На основании этого закона при решении практических задач, касающихся точности обрабатываемых заготовок, применяют методы, рекомендуемые математической статистикой и теорией вероятности. Пользуясь этими методами, можно расчетно-аналитическим путем определить наиболее вероятные значения размеров обрабатываемой заготовки при данных условиях обработки.

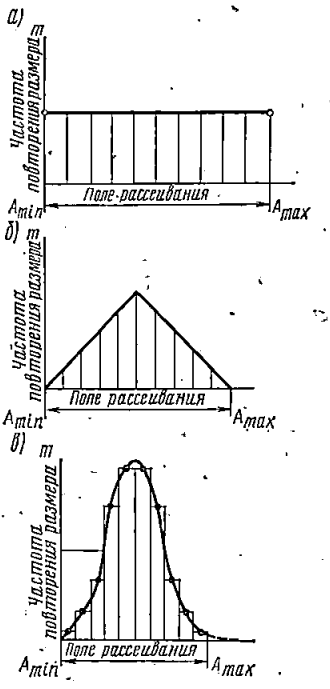


Рис. 9.

Измеряя заготовки одной партии после обработки их на станке, можно в пределах установленного допуска на размер разделить их на несколько групп с размерами в пределах определенного интервала. Тогда при достаточно большой партии деталей (50...100 шт.) можно обнаружить, что число заготовок, попавших в каждую из отобранных групп, различно. Если построить график, расположив по горизонтали номера групп с последовательно возрастающими размерами ($A_{min} — A_{max}$) установленного интервала (рис. 9), а по вертикали — число заготовок m, попавших в каждую группу и характеризующих частоту повторения размеров, то получившаяся кривая выразит закон распределения размеров обрабатываемых заготовок в данной партии, состоящей из n заготовок. Отношение m/n называют частостью появления случайного события (в данном случае заготовок одной категории точности).

В зависимости от числа обрабатываемых заготовок и степени влияния различных факторов, действующих в процессе получения размеров, можно построить весьма разнообразные формы кривых, характеризующих законы распределения. Наиболее характерными формами

кривых распределения являются: кривая распределения по *закону равной вероятности,* кривая распределения по *закону Симпсона* и кривая распределения по *закону Гаусса,* или, как часто его называют, *закона нормального распределения.*

Закон равной вероятности получения размеров заготовок, обрабатываемых в одной партии, показывают, что при выбранном методе обработки и оборудования размер зависит только от одного из факторов, например от износа режущего инструмента. Если износ инструмента при этом нарастает во времени по прямолинейному закону, размер обрабатываемой заготовки изменяется также строго постоянно, увеличиваясь или уменьшаясь (рис. 9, *а*). Однако это возможно, если действия всех остальных факторов несущественны и не влияют на изменение размеров заготовок. Если жесткость системы СПИД недостаточна и в связи с износом элементов системы появляется дополнительная деформация системы, то размер заготовки может изменяться во времени уже по другому закону. Суммарное действие этих двух факторов увеличивает деформации системы СПИД, и тогда закон распределения размера обработанных заготовок получает форму треугольника по закону Симпсона (рис. 9, *б*). Если влияние всех факторов в процессе обработки заготовок одинаково и ни один из них не является ярко выраженным, получение точного, наперед заданного размера в данный момент времени при изготовлении данной партии заготовок не может быть обеспечено. Однако при этом представляется возможным установить наиболее вероятный ожидаемый размер заготовок в данной партии по закону Гаусса (рис. 9, *в*). Этот размер располагается в середине поля рассеивания, которое и характеризует технологический процесс, выбранный для обеспечения заданного размера.

§ 10. Расчетно-аналитический метод обеспечения точности обрабатываемых заготовок

Изучение причин (факторов), вызывающих погрешности при обработке заготовок на металлорежущих станках, позволило установить связь между этими причинами и величинами погрешностей и таким образом управлять погрешностями, снижая или устраняя их совсем. В некоторых случаях можно воздействовать на факторы, вызывающие погрешности, так, чтобы они взаимно понижали или ликвидировали отдельные погрешности. Однако так можно поступать, если известен закон действия каждого фактора в отдельности.

В результате совокупного действия всех факторов возникает так называемая *результирующая погрешность,* определяющая величину отступления от заданного размера. Эту результирующую погрешность надо знать заранее и не допускать, чтобы ее величина была больше допуска, установленного на заданный размер.

Погрешности в пределах данной совокупности размеров можно разделить на: систематические постоянные погрешности, т. е. погрешности, имеющие одинаковое значение для всей рассматриваемой совокупности размеров, систематические переменные погрешности, закономерно из-

меняющиеся по ходу технологического процесса, и с л у ч а й н ы е п о г р е ш н о с т и (погрешности рассеивания), имеющие различные значения при невыясненных причинах их появления.

Так, например, если отверстия у заготовок всей партии обработаны разверткой, имеющей неправильный размер, то погрешность в размере отверстия является систематической, имеющей *постоянный характер*. Так как развертка в процессе работы подвергается износу, то и размер отверстия при переходе к обработке каждой последующей заготовки будет закономерно изменяться, при этом погрешность будет меньше систематической, но с *переменным* характером. Однако, обрабатывая отверстия заготовок одной и той же разверткой в номинально одинаковых условиях, размеры этих отверстий будут все-таки неодинаковы в результате действия ряда факторов (различие в твердости и т. п.) в пределах допуска на определенный размер, иначе говоря, получается рассеивание размеров отверстий заготовки, которые характеризуются погрешностями рассеивания, имеющими *случайный* характер.

Для определения результирующей погрешности необходимо суммировать все погрешности по величине и знаку. В зависимости от характера погрешностей — систематических или случайных, — порождающих рассеивание размеров, их суммируют различными способами.

Систематические постоянные погрешности суммируют алгебраически (с учетом их знаков), что в результате может привести как к увеличению, так и к уменьшению погрешностей или к их компенсации. Систематические переменные погрешности (любого знака: «+» или «—») суммируют арифметически, причем при определении суммарной погрешности исходят из наименее выгодных условий. К этому виду погрешности относятся: погрешности формы обрабатываемой заготовки, зависящие от жесткости системы СПИД, погрешности, связанные с износом инструмента, и погрешности настройки станка. Случайные погрешности суммируют по правилу квадратного корня.

При симметричном распределении составляющих погрешностей результирующая погрешность Δ составляет

$$\Delta = \sqrt{k_1\Delta_1^2 + k_2\Delta_2^2 + k_3\Delta_3^2 + \ldots + k_m\Delta_m^2},$$

где k_1, k_2, k_3, ... , k_m — коэффициенты, зависящие от вида кривых распределения составляющих погрешностей; Δ_1, Δ_2, Δ_3, ... , Δ_m — независимые случайные погрешности.

Если все составляющие погрешности следуют одному закону распределения, то каждый из коэффициентов k_1, k_2, k_3, ... , k_m равен k, т. е. для всех погрешностей является одинаковым. Наименьшая результирующая погрешность бывает тогда, когда составляющие погрешности следуют закону нормального распределения ($k = 1$). При износе инструмента результирующая погрешность возрастает ($k = 1{,}2 \ldots 1{,}5$), а при большом износе кривая распределения составляющих погрешностей следует уже закону равной вероятности ($k = 1{,}7$). При работе на предварительно настроенных станках с автоматическим получением размеров и незначительным износом режущего инстру-

мента распределение большинства случайных погрешностей близко к закону нормального распределения.

Основными характеристиками распределения случайной погрешности являются: средний размер и среднее квадратичное отклонение (понятие среднего размера относится к любому параметру — диаметру, длине, угловому размеру, отклонению от параллельности, плоскостности, перпендикулярности, соосности и т. д.).

Средний размер $L_{ср}$ определяют по формуле

$$L_{ср} = (L_1 + L_2 + L_3 + \ldots + L_n)/n,$$

где L_1, L_2, L_3, ... , L_n — размеры отдельных заготовок или деталей; n — общее количество заготовок или деталей в партии.

Среднее квадратичное отклонение $\sigma_{ср}$ определяют по формуле

$$\sigma_{ср} = \sqrt{[(L_1 - L_{ср})^2 + (L_2 - L_{ср})^2 + (L_3 - L_{ср})^2 + \ldots + (L_n - L_{ср})^2]/n}.$$

Опытные кривые можно заменить математическими кривыми, характеризующими определенные законы распределения случайных погрешностей, задаваемых уравнениями. Так, уравнение кривой нормального распределения (кривой Гаусса с ординатой y) имеет вид

$$y = \frac{1}{\sigma_{ср}\sqrt{2\pi}} e^{-x/2\sigma_{ср}^2},$$

где $\sigma_{ср}$ — среднее квадратичное отклонение; $x = L_i - L_{ср}$; e — основание натуральных логарифмов.

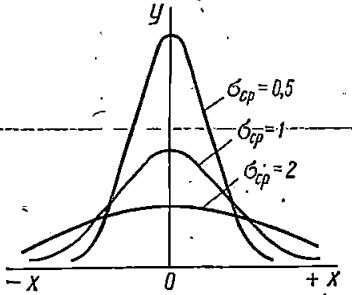


Рис. 10.

На рис. 10 приведены кривые нормального распределения для значений $\sigma_{ср} = 0{,}5$; $\sigma_{ср} = 1$ и $\sigma_{ср} = 2$. Зависимость формы кривой распределения от значения среднего квадратичного отклонения характеризует *величину рассеивания*. Чем меньше значение $\sigma_{ср}$, тем меньше рассеивание и кривая имеет суженную форму, а при большем $\sigma_{ср}$ рассеивание размеров выражается резче и кривая имеет растянутую форму.

При расчете для практических целей и характеристики точности операции в течение времени обработки применяют диаграмму точности обработки (рис. 11), которую строят в следующем порядке.

Вначале строят линию изменения размера A_0. Для этого определяют различные составляющие закономерно изменяющихся погрешностей для ряда моментов времени. Суммируя (алгебраически) эти погрешности, находят общую закономерно изменяющуюся погрешность в функции времени: $\Delta_{зак} = f(\tau)$. По обе стороны от линии A_0 откладывают значения мгновенного рассеивания $\Delta_{р.м}/2$ или поля рассеивания при настройке $\Delta_{р.н}/2$, которые образуют две кривые A_1 и A_2 (расчетное поле рассеивания). Тогда $\Delta_{разм} = \Delta_{зак} + \Delta_{р.м}$; $\Delta_{разм} = \Delta_{зак} + \Delta_{р.н}$ (при настройке).

Построение диаграммы основано на предварительном расчете с заданным значением поля рассеивания и построением линии изменения размера по принятой теоретической закономерности изменения суммарной погрешности.

При исследованиях на диаграмму наносят точки, полученные в результате произведенного опыта, размещение которых внутри расчетного поля свидетельствует о правильности построения диаграммы. В тех случаях, когда распределение случайных погрешностей подчиняется закону нормального распределения, в интервале $\pm 0{,}3\sigma_{ср}$ находится около 25% всех измеренных размеров деталей партии,

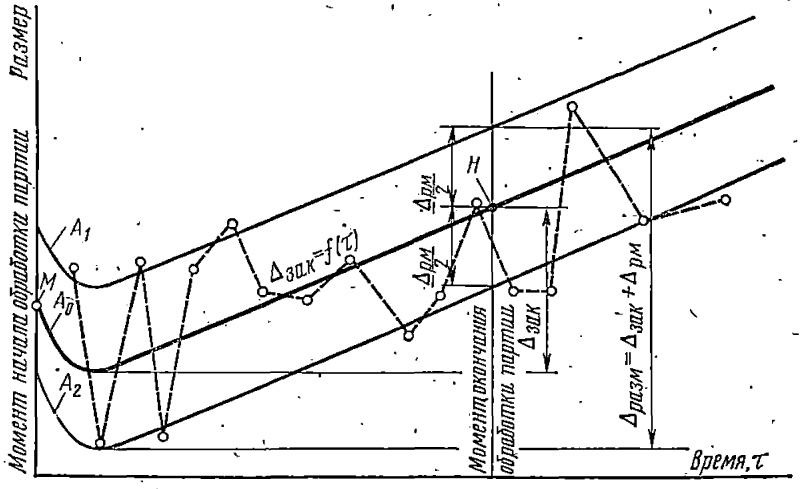


Рис. 11.

в интервале $\pm 0{,}7\sigma_{ср}$ — около 50% размеров, в интервале $\pm 1{,}1\sigma_{ср}$ — около 75% и, наконец, в интервале $\pm 3\sigma_{ср}$ — около 99,7% всех размеров.

При определении рассеивания расчетным путем полное значение мгновенного рассеивания складывается из рассеивания, не зависящего от нагрузки $\Delta_{р.\,м.\,незав}$ и зависящего от нагрузки $\Delta_{р.\,м.\,нагр}$, или

$$\Delta_{р.м} = 1{,}2\sqrt{\Delta^2_{р.\,м.\,незав} + \Delta^2_{р.\,м.\,нагр}}.$$

Величина $\Delta_{р.\,м.\,незав}$ без учета погрешностей формы при повышенной точности обработки (при чистовом точении) составляет от 6 до 19 мкм, а при обычной точности — от 11 до 35 мкм. Величина $\Delta_{р.\,м.\,нагр}$ может быть определена по формуле

$$\Delta_{р.\,м.\,нагр} = 1{,}2\,(\Delta_{р.\,заг}/k),$$

где $\Delta_{р.\,заг}$ — рассеивание размеров заготовок, равное $0{,}1\,z$ (z — припуск на диаметр); k — коэффициент, учитывающий свойства обрабатываемого материала.

Построение диаграммы должно быть увязано с размерами детали на чертеже. Для этого определяется положение начальной точки M

(рис. 11), соответствующее началу обработки партии деталей. Эта привязка осуществляется настройкой на размер с обеспечением совпадения середины поля рассеивания всей партии деталей с серединой поля допусков δ. Точка *H* соответствует окончанию обработки партии деталей. Разность абсцисс точек *H* и *M* равна промежутку времени между двумя поднастройками станка.

§ 11. Статистический метод исследования точности обработки с построением точечных диаграмм

Технологический процесс может быть *устойчивым* или *неустойчивым*, *налаженным* или *разлаженным*, вследствие чего качество заготовок может получаться *однородным* или *неоднородным*. Заготовки однородного качества имеют незначительные колебания, в то время как

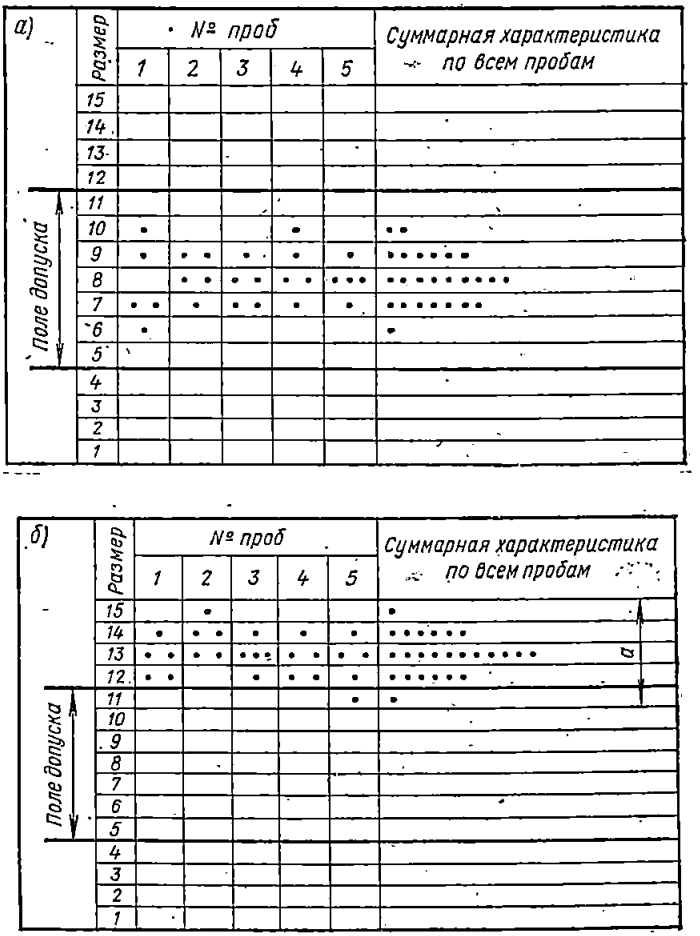


Рис. 12.

заготовки неоднородного качества характеризуются большими колебаниями в размерах, форме или свойствах.

С помощью метода построения кривых распределения исследуют точность обработки законченного технологического процесса. При этом не может быть учтена последовательность обработки заготовок, так как все заготовки данной партии как бы перемешиваются и систематические постоянные и переменные погрешности не отделяются от случайных и влияние как тех, так и других выражается в общем виде как рассеивание размеров.

Статистический метод исследования точности обработки с построением точечных диаграмм свободен от этих недостатков и позволяет исследовать технологический процесс значительно глубже, чем метод

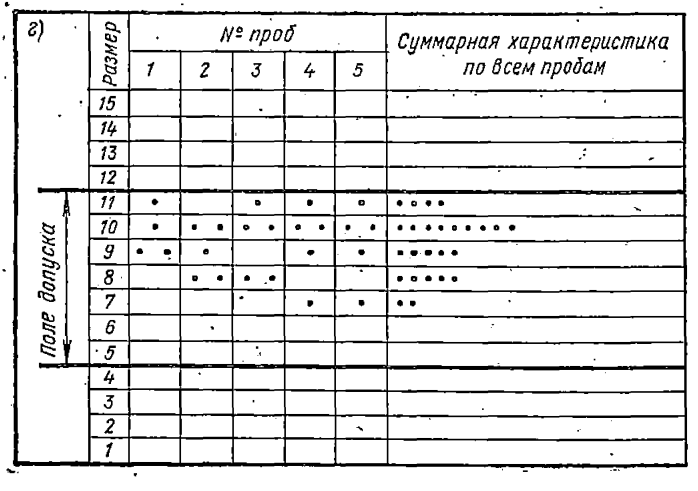


Рис. 12. Продолжение

кривых распределения; при этом оказывается возможным разделить влияние случайных и систематических погрешностей (как постоянных, так и закономерно изменяющихся).

Состояние технологического процесса и однородность качества заготовок можно определить по характеру расположения на графике в масштабе нанесенных точек, соответствующих действительным размерам, измеренным на нескольких заготовках подряд. Несколько штук заготовок (или образцов), взятых для измерения немедленно после обработки, называют *пробой*. Для того чтобы эти пробы могли быть сравнимы между собой, в них каждый раз включают равное количество заготовок (или образцов). Результаты измерения по каждому образцу данной пробы отмечают на графике отдельной точкой, поставленной против того деления шкалы, которому соответствует измеренный на заготовке размер. На рис. 12 показаны графики с результатами измерения пробы из пяти заготовок группой из пяти точек, расположенных в одной вертикальной колонке с номером очередной пробы.

График, показанный на рис. 12, *а*, характеризует устойчивый налаженный технологический процесс, так как все точки располагаются, не выходя из пределов допуска, причем центр кривой рассеивания располагается на линии, разделяющей поле допуска на две равные (примерно) части. На рис. 12, *б* положение центра рассеивания является симметричным, но сильно смещено в сторону увеличения размера, при этом величина разброса a меньше, чем величина допуска. Все это свидетельствует о том, что технологический процесс обработки является устойчивым, но требует подналадки для общего уменьшения размеров заготовки, с тем чтобы все точки, характеризующие качество (размеры) заготовок, оказались в пределах поля допуска. На рис. 12, *в* показан график с большим разбросом расположения точек, определяющих качество (размеры) выходящих за пределы поля допуска заготовок, хотя центр рассеивания лежит в середине допуска на размер. Этот график свидетельствует о том, что метод изготовления должен быть изменен (введение повторного рабочего хода или шлифования вместо обтачивания и т. д.). На рис. 12, *г* показан график, характеризующий наличие какой-то постоянной причины, вызывающей смещение центра рассеивания, что определяет необходимость наладки станка для устранения этой причины.

Точечные диаграммы можно строить не только для одной партии заготовок, но и для нескольких последовательно обрабатываемых партий, при этом партии разбиваются на группы, содержащие по нескольку последовательно обрабатываемых заготовок в каждой группе, и тогда по оси абсцисс откладываются не номера заготовок (проб), а номера групп, но при этом рассеивание средних значений групп (средних арифметических значений размеров заготовок, входящих в группу) будет меньше, чем рассеивание размеров отдельных заготовок.

Чтобы подналадка процесса обработки была сведена к минимуму и производилась как можно реже, необходимо стремиться использовать полную величину поля допуска от наладки до наладки. Для этого работу после наладки начинают с размера, противоположного размеру,

определяющему обычный момент остановки процесса для очередной наладки станка, а не со среднего размера, расположенного где-то около середины поля допуска, или тем более не с размера, близкого к границе допуска, на которой необходимо остановить станок для очередной наладки.

§ 12. Определение процента возможного брака по площади кривой распределения

Кривые рассеивания фактических размеров, полученные на основании наблюдений, имеют вид ломаных линий. Поэтому вывод каких-либо закономерностей, имеющих общее значение, на основании рассмотрения этих кривых является затруднительным. Для сопоставления и определения степени приближения кривой рассеивания фактических размеров к теоретической кривой распределения обе кривые вычерчивают на графике в одинаковом масштабе.

Зная среднеарифметический размер $L_{ср}$ и среднее квадратичное отклонение σ, можно построить кривую нормального распределения для каждого наблюдения, при этом среднеарифметический размер определит положение кривой нормального распределения (центр группирования), а среднеквадратичное — высоту и растянутость этой кривой.

Графическое построение кривой нормального распределения может быть упрощено, если воспользоваться приведенной ниже табл. 2 значений ординат y, вычисленных при $\sigma = 1$, т. е. для уравнения

$$y = \frac{10\,000}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2},$$

где $\pi = 3{,}14$; e — основание натуральных логарифмов ($e = 2{,}718$); $z = x/\sigma$; $x = L_i - L_{ср}$ — абсцисса, отсчитываемая от центра группирования.

Таблица 2. Значения z и ординат y

$\pm z$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$\pm y$	3989	3521	2420	1295	540	175	44

Практически для построения ветви кривой нормального распределения достаточно 5—7 точек, для чего необходимо принять соответствующее количество значений абсциссы x. Так, первое значение абсциссы, определяющее вершину кривой, необходимо принять равным нулю: $x = 0$, а последнее не должно выходить за пределы $x = 3\sigma$, после чего определяют $z = x/\sigma$ и по этим данным находят соответствующее значение y.

Для приведения кривой нормального распределения к тому же масштабу (частоте), что и кривая рассеивания фактических разме-

ров, ординату y умножают на масштабный коэффициент, тогда

$$m_i = y\,[n\Delta_x/(10\,000\sigma)]^*,$$

где m_i — ордината кривой нормального распределения в том же масштабе, что и у кривой рассеивания фактических размеров; n — общее число деталей в партии; Δ_x — величина интервала по оси абсцисс, принятая при построении кривой рассеивания фактических размеров (выраженная в тех же единицах, что и σ).

После этого точки, полученные на графике при построении теоретической кривой нормального распределения, обводятся плавной линией (рис. 13).

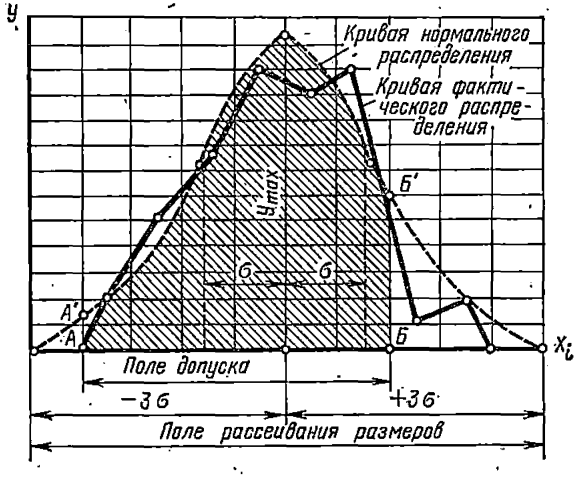


Рис. 13.

Площадь, ограниченная кривой нормального распределения, выражает в установленном масштабе полное количество обработанных заготовок данной партии. Часть площади, ограниченная прямыми $АА'$ и $ББ'$ и кривой нормального распределения (заштрихованная площадь), определяет количество годных заготовок. Вероятность получения заготовок в границах допуска определяется отношением заштрихованной площади ко всей площади, ограниченной кривой, а незаштрихованные площади определяют количество вероятного брака заготовок. Таким образом, отнеся эти площади к общей площади кривой распределения и умножив на 100, можно получить значение процента брака для данного технологического процесса.

Для определения величины соответствующих площадей (ограниченных верхним и нижним пределом допуска), расположенных по обе стороны центра рассеивания, пользуются приведенным ранее уравнением кривой Гаусса при аргументе $z = x/\sigma$. Обозначая выра-

* Ординаты y, приведенные к масштабу, делятся на 10 000, так как в таблице их значения умножены на 10 000.

жение интеграла через $\Phi(z)$, получаем

$$p = n/N = \Phi(z),$$

где p — частность (вероятность); n — число благоприятных случаев; N — число возможных случаев; $\Phi(z)$ — величина площади под одной половиной кривой нормального распределения, ограниченная с одной стороны средним значением (ось симметрии кривой) и с другой стороны — отклонением отдельных значений. Значения величины $^1/_2\,\Phi(z)$ (половины предельных площадей под кривой нормального распределения) приводятся в справочниках.

Более высоким этапом повышения точности производства является переход к синтезу, т. е. к определению суммарной погрешности как отдельных технологических процессов, так и всей технологической цепи при изготовлении деталей, а также машины или механизма в целом. Особое значение это приобретает в связи с существенным повышением степени автоматизации производственных процессов, что обусловливает необходимость не только прогнозировать точность каждой из составляющих технологических процессов, но и обеспечивать решение задачи автоматического управления этими процессами в целях получения требуемой точности изделий при минимальных производственных затратах. При этом методика анализа и синтеза погрешностей деталей, а также машин и приборов в целом предусматривают обеспечение точности в комплексе начиная от расчетно-конструкторских разработок при проектировании технологических процессов всех стадий производства, включая проектирование и создание средств измерений и контроля.

Базируясь на анализе структурных схем и функциональных связей параметров характеристики изделия с конструктивно-технологическими параметрами, можно разработать математические модели (математическое описание) закономерностей и взаимосвязей, определяющих требования к точности на основе заданного качества на выходе технологического процесса, т. е. создать условия, обеспечивающие стабильность технологии производства. К таким работам относится методика обеспечения качества и надежности приборов, предложенная засл. деят. науки и техники РСФСР, докт. техн. наук, проф. А. Н. Гавриловым и нашедшая применение в решении практических задач производства.

§ 13. Размерный анализ

Качество изготовления и сборки деталей обеспечивается, в частности, правильной простановкой размеров на рабочих и сборочных чертежах. В большинстве случаев отдельные размеры, отнесенные к одной или к группе деталей, находятся во взаимосвязи друг с другом; изменение одного из размеров этой взаимосвязанной группы влияет на один или несколько других размеров.

Размерной цепью называется совокупность размеров (звеньев), образующих замкнутый контур и отнесенных к одной или к группе деталей.

Звеном размерной цепи называется один из размеров, образующих размерную цепь.

Различают следующие виды размерных цепей: размерные цепи с линейными размерами и параллельными звеньями; к ним относится большинство размерных цепей (рис. 14, *а*); размерные цепи с линейными размерами и непараллельными звеньями (рис. 14, *б*). К этой группе может быть отнесен любой многоугольник, если каждая сторона его задана линейным размером, причем если спроектировать все размеры на одну ось, то эту группу можно свести к первому виду размерных цепей; размерные цепи с угловыми размерами (рис. 14, *в*); для этого вида цепей характерны детали с несколькими отверстиями, равномерно расположенными по окружности, если расстояния между центрами этих отверстий заданы в угловых

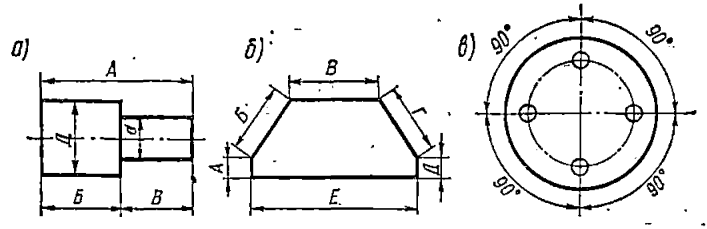


Рис. 14.

величинах, а также детали, требующие при обработке деления окружности на равное число частей, например у зубчатых и червячных колес, фрез и т. п. Из-за трудности точного измерения угловых величин угловые размерные цепи часто заменяют линейными с непараллельными звеньями. Контроль таких размеров возможен с помощью калибров для межцентровых расстояний; пространственные размерные цепи — это цепи, звенья которых расположены в непараллельных плоскостях. Такие размерные цепи встречаются очень редко, и для их решения проектируют все размеры на одну плоскость.

Элементы детали или сборочной единицы, образующие размерную цепь, являются *звеньями* этой цепи. Наименьшее число звеньев, образующих размерную цепь, равно *трем*.

Все звенья размерной цепи подразделяют на две группы: составляющие звенья и замыкающее звено. Замыкающим звеном называют звено, получаемое в размерной цепи в процессе изготовления и измерения последним. Получение любого звена последним в качестве замыкающего зависит от порядка обработки заготовок или сборки деталей. Так, при обработке ступенчатого вала (рис. 14, *а*), для того чтобы получить звено B при обработке последним, нужно сначала отрезать заготовку размером A, затем, обтачивая вал в размере малого диаметра d, выдержать в пределах заданной точности размер $Б$, и тогда размер B получится последним. Если в качестве

замыкающего звена нужно иметь общий размер ступенчатого вала по длине A, то в этом случае заготовку берут несколько большей длины, чем размер A. Вначале обтачивают меньшую ступень вала на длину B, а затем отрезают готовую деталь, выдерживая размер $Б$. Общая длина вала при этом будет замыкающим звеном, имеющим размер A. Таким образом, меняя порядок обработки, можно в качестве замыкающего звена получить любое звено размерной цепи. Звено размерной цепи, изменение которого вызывает изменение исходного звена, для решения которого используется размерная цепь, или замыкающего звена, называется составляющим звеном. Составляющие звенья размерной цепи подразделяют на две группы: увеличивающие и уменьшающие.

Увеличивающим звеном называют такое звено, которое при своем увеличении увеличивает размер исходного или замыкающего звена, а *уменьшающим звеном* — которое при своем увеличении уменьшает размер исходного или замыкающего звена. Так, если у ступенчатого вала (рис. 14, *а*) принять в качестве замыкающего звено B, то звено A будет увеличивающим и звено $Б$ — уменьшающим. Правильность размерного расчета зависит от правильности нахождения увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Общее правило *для нахождения увеличивающих и уменьшающих звеньев заключается в составлении уравнения номинальных размеров, связывающего все члены размерной цепи, и решения его относительно номинального размера замыкающего звена. Тогда все члены правой части уравнения со знаком плюс будут увеличивающими, а со знаком минус — уменьшающими звеньями.*

При решении размерных цепей возникают две задачи: прямая и обратная. При прямой задаче по допускам составляющих звеньев находят допуск замыкающего звена. При обратной задаче по допуску замыкающего звена определяют допуск составляющих звеньев.

Для решения прямой задачи на максимум и минимум возьмем простейшую размерную цепь (рис. 14, *а*) с замыкающим звеном B, в которой, как уже сказано, A является увеличивающим, а $Б$ — уменьшающим звеном. Из рисунка видно, что $A = Б + B$, отсюда $B = A - Б$.

В общем случае для любого числа звеньев размерной цепи уравнение номинальных размеров будет

$$B = \sum A - \sum Б.$$

Таким образом, номинальный размер замыкающего звена B равен сумме номинальных размеров всех увеличивающих звеньев A без суммы номинальных размеров всех уменьшающих звеньев $Б$.

Из рис. 14, *а* видно, что предельные звенья замыкающего звена B зависят от предельных значений составляющих звеньев A и $Б$:

$$B_б = A_б - Б_м; \quad B_м = A_м - Б_б,$$

где $A_б$, $Б_б$, $B_б$ и $A_м$, $Б_м$, $B_м$ — соответственно наибольшие и наименьшие значения звеньев. Вычтя почленно второе уравнение из первого,

найдем

$$B_б - B_м = (A_б - Б_м) - (A_м - Б_б).$$

После раскрытия скобок и перестановки членов получим

$$B_б - B_м = (A_б - A_м) + (Б_б - Б_м),$$

но каждая разность предельных размеров есть допуск на этот размер, следовательно,

$$\delta_B = \delta_A + \delta_Б.$$

Отсюда для любой размерной цепи с числом звеньев n, обозначив $\delta_з$ — допуск замыкающего звена, имеем

$$\delta_з = \sum \delta_n.$$

Таким образом, *допуск замыкающего звена размерной цепи равен сумме допусков всех составляющих звеньев.* Приведенное уравнение является основным уравнением размерного анализа, из которого вытекают два основных правила:

1. *В качестве замыкающего звена в размерной цепи надо выбирать самое грубое (с точки зрения эксплуатации) по точности звено, чтобы для него можно было назначить суммарный допуск всей размерной цепи.* Это правило основано на том, что в замыкающем звене, поскольку оно является последним в процессе изготовления, накапливаются погрешности предшествующей обработки всех составляющих звеньев.

2. *Для облегчения решения размерной цепи необходимо проектировать размерные цепи с наименьшим числом звеньев.* Это правило иногда называют правилом короткой размерной цепи и объясняют тем, что при большом числе размеров (10...15) в замыкающем звене получается такой большой допуск, что ни на одно из звеньев размерной цепи его назначить нельзя.

Недостаточно знать номинальный размер и допуск замыкающего звена, следует найти и его отклонения. Так как верхнее отклонение определяется как разность между наибольшим предельным размером $A_б$ и номинальным размером A, а нижнее отклонение — как разность между наименьшим предельным размером $A_м$ и номинальным размером A, то

$$\Delta_{вA} = A_б - A; \quad \Delta_{нA} = A_м - A,$$

где $\Delta_{вA}$ — верхнее отклонение размера A; $\Delta_{нA}$ — нижнее отклонение размера A. Отсюда следует, что

$$A_б = A + \Delta_{вA}; \quad A_м = A + \Delta_{нA}.$$

Очевидно, что и для остальных звеньев размерной цепи (рис. 14, *а*) можно написать аналогичные уравнения, т. е. всего шесть вспомогательных уравнений.

Уравнение максимума замыкающего звена имеет вид

$$B_б = A_б - Б_м.$$

Заменив каждый член этого уравнения соответственно одним из вспомогательных уравнений, получим

$$B + \Delta_{вB} = A + \Delta_{вA} - Б - \Delta_{нБ},$$

вычтя из него почленно уравнение номинальных размеров $B = A - Б$, получим

$$\Delta_{вB} = \Delta_{вA} - \Delta_{нБ}.$$

Для любой размерной цепи с каким угодно числом звеньев уравнение верхнего отклонения замыкающего звена имеет вид

$$\Delta_{вB} = \sum \Delta_{вA} - \sum \Delta_{нБ}.$$

Таким образом, *верхнее отклонение замыкающего звена равно сумме верхних отклонений всех увеличивающих звеньев, минус сумма нижних отклонений всех уменьшающих звеньев.*

Уравнение м и н и м у м а замыкающего звена имеет вид

$$B_м = A_м - Б_б.$$

Осуществив те же действия по замене каждого члена этого уравнения одним из вспомогательных уравнений, получим

$$\Delta_{нB} = \sum \Delta_{нA} - \sum \Delta_{вБ}.$$

Таким образом, *нижнее отклонение замыкающего звена равно сумме нижних отклонений всех увеличивающих звеньев минус сумма верхних отклонений всех уменьшающих звеньев.*

Рассмотрим пример расчета номинального размера допуска и отклонения замыкающего звена. Допустим, что деталь, приведенная на рис. 14, *а*, имеет следующие размеры: $A = 120^{+0,05}_{-0,03}$, $Б = 70^{-0,13}_{-0,20}$.

1. По уравнению минимальных размеров определяем

$$B = A - Б = 120 - 70 = 50.$$

2. Из уравнения допусков имеем

$$\delta_B = \delta_A + \delta_Б \quad \text{или} \quad \delta_A = (+0,05) - (-0,03) = 0,08,$$

$$\delta_Б = (-0,13) - (-0,20) = 0,07, \quad \delta_B = 0,08 + 0,07 = 0,15.$$

3. Из уравнения отклонений определяем:

$$\Delta_{вB} = \Delta_{вA} - \Delta_{нБ} = (+0,05) - (-0,20) = +0,25,$$

$$\Delta_{нB} = \Delta_{нA} - \Delta_{вБ} = (-0,03) - (0,13) = +0,10.$$

Окончательное значение размера $B = 50^{+0,25}_{+0,10}$.

Следует иметь в виду, что полученное расчетным путем значение замыкающего звена B нельзя писать на чертеже, так как в цехе, где будет изготовляться эта деталь, могут не знать, какое звено предполагалось получить последним, и в случае нарушения предусмотренного порядка это может привести к ошибкам при изготовлении или сборке деталей. Действительно, если вначале изготовить звенья $Б$ и B, то сумма максимумов их размеров составит

$$69,87 + 50,25 = 120,12,$$

что больше наибольшего допускаемого размера A (120,12 > 120,05), а сумма минимумов этих же размеров составит

$$69,80 + 50,10 = 119,90,$$

что меньше допустимого значения размера A (119,9 < 119,97).

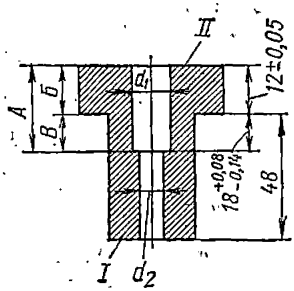


Рис. 15.

Рассмотрим пример перерасчета размеров при изменении баз (поверхностей, от которых заданы размеры). Так, на изображенной на рис. 15 втулке конструктор

задал размеры от конструктивной базы I, при этом измерение размера $18^{+0,08}_{0,14}$ при изготовлении и контроле отверстия d_1, затруднительно, более удобно определить размер A от технологической базы II.

В размерной цепи $A - Б - B$ размер $B = 18^{+0,08}_{-0,14}$ является замыкающим звеном, так как он должен получиться в результате исполнения размеров A и $Б$. Определим из уравнения номинальных размеров размер A:

$$A = Б + B = 12 + 18 = 30.$$

Из уравнения допусков $\delta_B = \delta_A + \delta_Б$, отсюда

$$\delta_A = \delta_B - \delta_Б = 0{,}22 - 0{,}10 = +0{,}12.$$

Из уравнения отклонений имеем:

$$\Delta_{вB} = \Delta_{вA} - \Delta_{нБ}, \quad \Delta_{вA} = \Delta_{вB} + \Delta_{нБ} = (+0{,}08) + (-0{,}05) = +0{,}03;$$
$$\Delta_{нB} = \Delta_{нA} - \Delta_{вБ}, \quad \Delta_{нA} = \Delta_{нB} + \Delta_{вБ} = (-0{,}14) + (+0{,}05) = -0{,}09.$$

Размер $A = 30^{+0,03}_{-0,09}$.

Глава III
КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

§ 14. Определения и основные понятия

Эксплуатационные свойства деталей машин и долговечность их работы в значительной степени зависят от состояния их поверхности. В отличие от теоретической поверхности деталей, изображаемых на чертеже, реальная поверхность всегда имеет неровности различной формы и высоты, образующиеся в процессе обработки. Высота, форма, характер расположения и направление неровностей поверхностей обрабатываемых заготовок зависят от ряда причин: режима обработки, условий охлаждения и смазки режущего инструмента, химического состава и микроструктуры обрабатываемого материала, конструкции, геометрии и режущей способности инструмента, типа и состояния оборудования, вспомогательного инструмента и приспособлений. Различают следующие отклонения от теоретической поверхности: макрогеометрические, волнистость и микрогеометрические.

Макрогеометрические отклонения — единичные, не повторяющиеся регулярно отклонения от теоретической формы поверхности, характеризующиеся большим (>1000) отношением протяженности поверхности L к величине отклонения h. Макрогеометрические отклонения характеризуют овальность, конусообразность и другие отклонения от правильной геометрической формы.

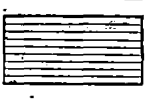
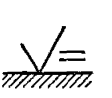
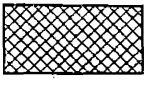
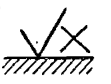
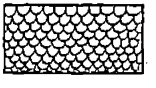
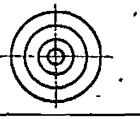
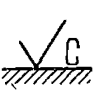
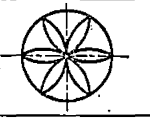
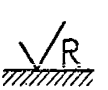
Волнистость поверхности представляет собой совокупность периодически чередующихся возвышений и впадин с отношением шага волны $L/h = 50...1000$. Волнистость является следствием вибрации системы СПИД, а также неравномерности процесса резания.

Микрогеометрические отклонения, или микронеровности, образуются при обработке заготовок в результате воздействия режущей кромки инструмента на обрабатываемую поверхность, а также вследствие пластической деформации обрабатываемого

материала в процессе резания. Микронеровности определяют шероховатость (негладкость) обработанной поверхности. Они характеризуются небольшим значением отношения шага микронеровностей L к их высоте h: $L/h < 50$.

Характер и расположение микронеровностей зависят от направления главного движения при резании и направления движения подачи. Различают шесть разновидностей направлений неровностей: параллельное, перпендикулярное, перекрещивающееся, произвольное, кругообразное и радиальное. В табл. 3 приведены виды направлений неровностей и их условные обозначения, проставляемые на чертежах.

Таблица 3. **Разновидности направлений неровностей**

Типы направлений неровностей	Схемы направлений неровностей	Обозначение
Параллельное		
Перпендикулярное		
Перекрещивающееся		
Произвольное		
Кругообразное		
Радиальное		

§ 15. Параметры оценки и измерение шероховатости поверхности

ГОСТ 2789—73 регламентирует следующие (один или несколько) параметры шероховатости: Ra — среднее арифметическое отклонение профиля (Ra = 100...0,008 мкм); Rz — высота неровностей профиля по десяти точкам (Rz = 1600...0,25 мкм); $R\max$ — наиболь-

шая высота неровностей профиля ($R\max = 1600...0{,}25$ мкм); Sm — средний шаг неровностей ($Sm = 12{,}5...0{,}002$ мкм); S — средний шаг неровностей по вершинам ($S = 12{,}5...0{,}002$ мкм); tp — относительная опорная длина профиля (10...90%), где p — числовое значение уровня сечения профиля.

Числовые обозначения базовой длины l, на которой происходит определение параметра, выбираются из ряда 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Среднее арифметическое отклонение профиля Ra есть среднее значение расстояний (y_1, y_2, ..., y_n) точек измеренного профиля до его средней линии (рис. 16):

$$Ra = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} |y_i|,$$

где y_i — абсолютные (без учета алгебраического знака) расстояния до средней линии; n — число измеренных отклонений.

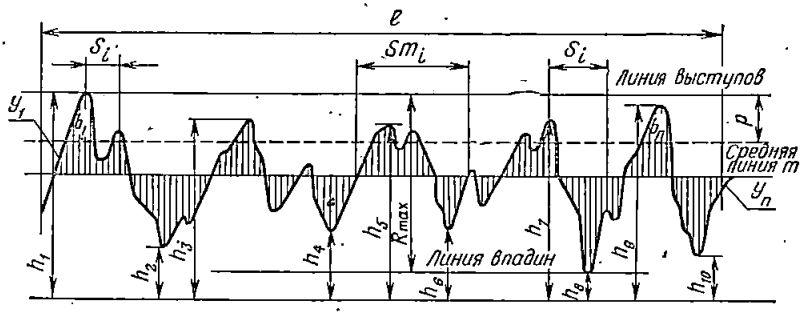


Рис. 16.

Средняя линия m профиля делит измеряемый профиль таким образом, что в пределах длины участка поверхности, выбираемого для измерения шероховатости, сумма квадратов расстояний (y_1, y_2, ..., y_n) точек профиля до этой линии минимальна. При определении положения средней линии на профилограмме можно использовать следующее условие: средняя линия должна иметь направление измеренного профиля и делить его таким образом, чтобы в пределах базовой длины l площади F по обеим сторонам от этой линии до линии профиля были равны между собой:

$$F_1 + F_3 + \ldots + F_{n-1} = F_2 + F_4 + \ldots + F_n.$$

Длина участка поверхности, выбираемая для измерения шероховатости, называется *базовой длиной l*.

Высота неровностей Rz характеризует среднее расстояние между находящимися в пределах базовой длины пятью высшими точками выступов и пятью низшими точками впадин, измеренное от линии, параллельной средней линии (рис. 16):

$$Rz = [(h_1 + h_3 + \ldots + h_9) - (h_2 + h_4 + \ldots + h_{10})]/5,$$

где h_1, h_3, ..., h_9 — расстояние от высших точек выступов до линии, параллельной средней линии; h_2, h_4, ..., h_{10} — расстояние от низших точек впадин до линии, параллельной средней линии.

Средний шаг неровностей профиля Sm и средний шаг неровности профиля по вертикали S есть среднее арифметическое значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины:

$$Sm = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Sm_i; \quad S = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} S_i.$$

Относительная опорная длина профиля tp — отношение опорной длины профиля η_p к базовой длине l:

$$tp = \left(\frac{\eta_p}{l}\right)100\%, \quad \text{где } \eta_p = \sum_{i=1}^{n} b_i.$$

По ГОСТ 2789—73 шероховатость поверхности — это совокупность неровностей с относительно малыми шагами (расстоянием между вершинами характерных неровностей измеренного профиля), образующих рельеф поверхности и рассматриваемых в пределах участка, длина которого выбирается в зависимости от характера поверхности и равна базовой длине. Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться, исходя из функционального назначения поверхности путем указания числового значения (наибольшего номинального или диапазона значений) параметров и базовой длины.

Таблица 4. **Классы шероховатости поверхности**

Классы шероховатости поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля Ra, мкм, не более	Высота неровностей Rz, мкм, не более	Базовая длина, мм
1	—	320	8
2	—	160	
3	—	80	
4	—	40	2,5
5	—	20	
6	2,5	—	0,8
7	1,25	—	
8	0,63	—	
9	0,32	—	0,25
10	0,16	—	
11	0,08	—	
12	0,04	—	
13	—	0,1	0,08
14	—	0,05	

При использовании уже действующей технической документации допускается применять до 1980 г. классы шероховатости поверхности, приведенные в табл. 4 и 5.

Классы шероховатости поверхности 6...14 дополнительно разделяются на разряды (табл. 5).

Таблица 5. Классы шероховатости поверхности по разрядам

Класс шероховатости поверхности	Среднее арифметическое отклонение профиля *Ra*, мкм			Высота неровностей *Rz*, мкм		
	Разряды, не более					
	а	б	в	а	б	в
6	2,5	2,0	1,6	—	—	—
7	1,25	1,0	0,8	—	—	—
8	0,63	0,5	0,4	—	—	—
9	0,32	0,25	0,2	—	—	—
10	0,16	0,125	0,1	—	—	—
11	0,08	0,063	0,05	—	—	—
12	0,04	0,032	0,025	—	—	—
13	—	—	—	0,1	0,08	0,063
14	—	—	—	0,05	0,04	0,032

Примечание. Для классов шероховатости 6...12 основным является параметр *Ra*, а для классов 1...5; 13 и 14 — параметр *Rz*.

В последующих разделах учебника числовые значения параметров шероховатости указаны в соответствии с ГОСТ 2789—73, поэтому табл. 4 и 5 должны использоваться в качестве переводных на установленный ГОСТом срок.

В соответствии с ГОСТ 2.309—73 для обозначения шероховатости поверхностей, вид обработки которой не установлен, применяется знак $\sqrt{}$. Шероховатость поверхности, образуемой удалением слоя металла, например точением, сверлением, фрезерованием, шлифованием, травлением и пр., обозначают знаком $\sqrt{}$, а поверхности, образуемой без удаления слоя металла, например литьем, штамповкой и пр., а также не обрабатываемой по данному чертежу, — знаком $\sqrt{}$.

Значение параметра шероховатости указывается в обозначении шероховатости для параметров *Ra* без символа, например 0,4 ($\overset{0,4}{\sqrt{}}$), а для остальных параметров — после соответствующего символа, например *Rz* 32 ($\overset{Rz\,32}{\sqrt{}}$). При необходимости указания кроме пара-

метра (параметров) вида обработки, базовой длины, условного обозначения направления неровностей применяют знак с полкой $\sqrt{}$, например $\sqrt{\frac{0{,}32\ \text{Полировать}}{0{,}08}}$ М.

Структура обозначения шероховатости поверхности при указании двух или более параметров и порядок их расположения определены ГОСТ 2.309—73.

§ 16. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин

Как указывалось выше, на эксплуатационные свойства деталей машин существенно влияет шероховатость обработанной поверхности, но не во всех случаях гладко обработанная поверхность является наиболее износоустойчивой, так как удержание смазки на поверхности деталей при различных условиях трения (нагрузка, скорость, материал сопрягаемых деталей и др.) зависит от микронеровностей поверхностей. Поэтому с учетом конкретных условий трения устанавливают оптимальную шероховатость поверхности.

На износоустойчивость поверхности влияют сопротивляемость поверхностного слоя разрушению и макрогеометрические отклонения, которые вызывают неравномерный износ отдельных участков. Волнистость приводит к увеличению удельного давления, так как трущиеся поверхности соприкасаются с выступами волн; то же происходит и при микронеровностях поверхностей, причем выступы микронеровностей могут деформироваться — сминаться или даже срезаться при движении одной трущейся поверхности относительно другой. Вершины микронеровностей могут вызывать разрывы масляной пленки, вследствие чего в местах разрывов создается сухое трение.

Во многих случаях прочность деталей машин зависит также от шероховатости поверхности. Установлено, что наличие рисок, глубоких и острых царапин создает очаги концентрации внутренних напряжений, которые в дальнейшем приводят к разрушению детали. Такими очагами могут являться также впадины между гребешками микронеровностей. Это не относится к деталям, изготовляемым из чугуна и цветных сплавов, в которых концентрация напряжений возможна в меньшей степени.

Прочность прессовых соединений также зависит от шероховатости и особенно от высоты микронеровностей; при запрессовке одной детали в другую фактическая величина натяга зависит от шероховатости поверхности и отличается от величины натяга при запрессовке деталей с гладкими поверхностями для тех же диаметров.

От шероховатости поверхности зависит также устойчивость поверхности против коррозии. Чем меньше микронеровностей поверхности, тем меньше площадь соприкосновения с корродирующей средой,

тем меньше влияние среды. Чем глубже впадины микронеровностей и чем резче они очерчены, тем больше разрушающее действие коррозии, направленное в глубь металла.

§ 17. Методы и средства оценки шероховатости поверхности

Шероховатость поверхности оценивают двумя основными методами: качественным и количественным.

Качественный метод оценки основан на сравнении обработанной поверхности с эталоном (образцом) поверхности посредством визуального сопоставления, сопоставления ощущений при ощупывании рукой (пальцем, ладонью, ногтем) и сопоставления результатов наблюдений под микроскопом. Визуальным способом можно достаточно точно определять шероховатость поверхности, за исключением весьма тонко обработанных поверхностей. Эталоны, применяемые

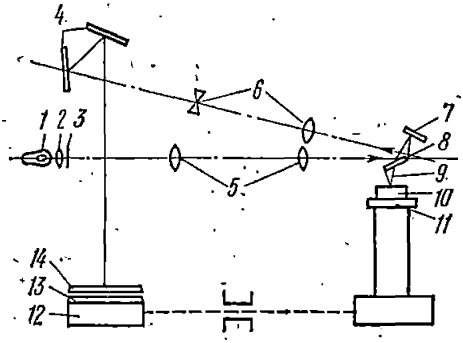


Рис. 17.

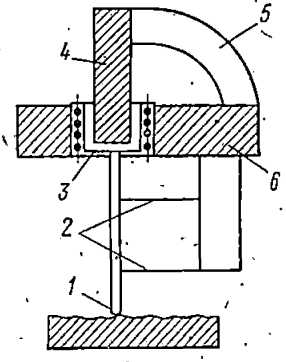


Рис. 18.

для оценки шероховатости поверхности визуальным способом, должны быть изготовлены из тех же материалов, с такой же формой поверхности и тем же методом, что и деталь. Качественную оценку весьма тонко обработанных поверхностей следует производить с помощью микроскопа; можно пользоваться лупой с пятикратным и бо́льшим увеличением.

Количественный метод оценки заключается в измерении микронеровностей поверхности с помощью приборов: профилографа К. М. Аммона, профилографа Б. М. Левина (модели ИЗП-17 и ИЗП-5), двойного микроскопа и микроинтерферометра В. П. Линника, профилометра В. М. Киселева и др.

Схема профилографа Б. М. Левина (модель ИЗП-17) приведена на рис. 17. Луч света от лампы *1* падает на зеркала *8* и *7*, проходя через линзу *2*, щель *3* и оптическую систему *5*. Зеркало *8* связано с ощупывающей иглой. Луч света, отраженный от зеркала *7* и затем от зеркала *8*, проходит оптическую систему *6* и, попадая на зеркало *4* и далее на цилиндрическую линзу *14*, проецирует изображение щели *3* на светочувствительную пленку *13*, расположенную на барабане *12*.

Изображение щели проецируется в виде световой точки. Деталь *10*, поверхность которой подвергается измерению, располагается на верхнем диске предметного стола *11*. При вращении синхронного двигателя стол вместе с деталью получает поступательное движение относительно иглы *9*, а барабан *12* — вращение.

Скорость снятия профилограммы может меняться изменением скорости вращения барабана. Скорость перемещения стола *11* не зависит от скорости вращения барабана *12*, что обеспечивает получение трех горизонтальных масштабов с увеличением 25 и 50. Размеров вертикального увеличения в пределах 250...5000 достигают сменой объектива *6* и установкой иглы *9* в различные отверстия рычага. От вертикального увеличения зависит максимальная высота микронеровностей, записываемая на барабане *12*; от горизонтального увеличения зависит длина профилируемого участка (1,75...7 мм) исследуемой поверхности.

Для измерения микронеровностей применяют также профилометр конструкции В. М. Киселева, принцип действия которого заключается в возбуждении электродвижущей силы в результате колебательных движений ощупывающей иглы. На рис. 18 приведена схема этого профилометра (модель КВ-7). Игла *1* с алмазным наконечником, радиус закругления которого 12 мкм, подвешена на пружинах *2*. Нижний конец ее ощупывает неровности поверхности детали, а верхний связан с индукционной катушкой *3*, которая перемещается в магнитном поле полюсов *4* и *6* магнита *5*. Возбуждаемые этим перемещением малые токи усиливаются и отмечаются гальванометром. Перемещение иглы по проверяемой поверхности осуществляется с помощью электропривода со скоростью 10...20 мм/с. Давление иглы на поверхность проверяемой детали в пределах 0,5...2,5 гс/мм^2. При подключении к профилометру осциллографа можно получить профилограмму исследуемой поверхности.

Для измерения шероховатости предназначен также двойной микроскоп В. П. Линника (рис. 19). Прибор состоит из двух частей: микроскопа *А* для освещения исследуемой поверхности, микроскопа *Б* для наблюдения и измерения профиля поверхности. Оси обеих частей микроскопа наклонены под углом 45° к исследуемой поверхности с совпадением точек пересечения осей с предметными точками объективов.

В плоскости изображения объектива *3* микроскопа *А* расположена перпендикулярно плоскости оси микроскопа щель *2* с освещением от источника света *1*. Объектив *3*, уменьшая, дает изображение a_1 щели *2* на проверяемой плоскости *P* в виде узкой светящейся линии. При отсутствии на участке поверхности *P* микронеровностей объектив *4* микроскопа *Б* в плоскости сетки окуляра *5* даст изображение a_2 той же узкой светящейся линии, а также изображение близлежащего участка исследуемой поверхности.

При том же расположении микроскопов *А* и *Б* при наличии микронеровностей h часть пучка света, отраженная от участка поверхности P_1, при наблюдении будет казаться выходящей из точки a_1 или из точки a'_1 поверхности P'_1, расположенной на расстоянии $2h$

ниже поверхности P. Тогда изображение точки a_2' на сетке окуляра 5 будет на расстоянии h' от оси микроскопа $Б$, равном

$$h' = 2xh \sin 45°,$$

где x — увеличение объектива 4.

Для измерений высоты неровностей в микроскопе $Б$ установлен окулярный микрометр. Двойной микроскоп В. П. Линника позволяет также фотографировать исследуемую поверхность с высотой неровностей от 0,9 до 60 мкм.

Для измерения микронеровностей от 0,1 до 6 мкм с увеличением от 400 до 500 применяют микроинтерферометр МИИ-1 В. П. Линника (рис. 20, *а*) с интерференционными полосами, соответствующими профилю исследуемой поверхности в данном сечении (рис. 20, *б*,

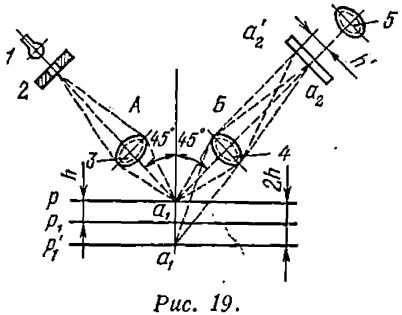


Рис. 19.

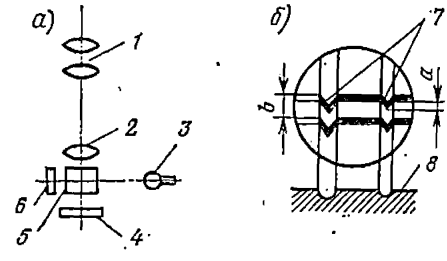


Рис. 20.

где *1* — окуляр, *2* — линза, *3* — источник света, *4* — контролируемая деталь, *5* — призма, *6* — эталонное зеркало, *7* — интерференционные полосы, *8* — проверяемая поверхность). При помощи интерференционной головки на контролируемой поверхности создаются интерференционные полосы. При наличии рисок и других микронеровностей полосы искривляются на величину, пропорциональную высоте неровностей. С помощью окуляра производят отсчеты величины a, выражающей величину высоты микронеровностей, и отсчет величины b, соответствующей расстоянию между двумя соседними интерференционными полосами (рис. 20, *б*), тогда высота микронеровности (мкм)

$$h = 0{,}25\ a/b.$$

Для определения шероховатости поверхности в труднодоступных местах применяют метод снятия с исследуемой поверхности слепков, шероховатость поверхности которых служит в дальнейшем критерием оценки с помощью указанных выше приборов. Искажение профиля исследуемой поверхности при снятии слепка практически не превышает 2...3%. В качестве материалов для слепков обычно применяют целлулоид, растворяемый в ацетоне. Для получения слепка целлулоид опускают на непродолжительное время (2...3 мин) в ацетон, затем прикладывают к исследуемой поверхности и сушат в течение 10...50 мин (в зависимости от шероховатости обработанной поверхности).

Таблица 6. Классы шероховатости поверхности и классы точности

Вид обработки	Классы шероховатости в зависимости от применяемых материалов				Классы точности	
	неметаллические	легкие сплавы	латунь (бронза)	сталь	экономичные	достижимые
Сверление:						
$< D = 15$ мм	4...6	4...6	5...6	4...6	4...7	< 3
$> D = 15$ мм	5...6	4...5	4...5	3...4	4...7	—
Зенкерование чистовое	—	5...6	5...6	5...6	3...7	< 2а
Фрезерование:						
цилиндрическое черновое	—	4	4	4	5...7	
цилиндрическое чистовое	—	5...6	5...6	5...6	4...7	2а
цилиндрическое тонкое	—	—	—	7	3	
торцевое черновое	—	4	4	4	5...7	
торцевое чистовое	—	5...6	5...7	5...7	4...7	2а
торцевое тонкое	—	7	7...9	7...8	3	
Строгание:						
черновое	—	4	4	4	5...7	
чистовое	—	5...7	5...7	5...7	—5	< 2а
тонкое	—	7...8	7...8	7...8	3	
Наружное точение:						
получистовое	—	4...5	4...5	4...5	5...7	
чистовое	5...6	5...7	5...7	5...7	2...5	< 1
тонкое (алмазное)	—	8	8...9	8...9	2	
Растачивание:						
получистовое	—	4	4	4	5...7	—
чистовое	4...6	5...7	5...7	5...7	2...5	—
тонкое (алмазное)	—	7...8	7...9	7...8	2	< 1
Подрезка торцов:						
получистовое	—	4...5	4...5	4...5	—	—
чистовое	4...6	6...7	6...7	6...7	—	—
тонкое	—	8	8...9	8...9	—	—
Шабрение:						
чистовое (грубое)	—	5...7	5...7	5...7	—	—
тонкое	—	—	8...9	8...9	—	—
Развертывание:						
получистовое	—	5...6	5...6	5...6	3	—
чистовое	—	6...7	6...8	6...7	2...2а	—
тонкое	—	8	9...10	8...9	2	< 1
Протягивание:						
чистовое	—	—	—	6...8	2...3	—
отделочное	—	—	—	9...10	2	< 1
Зачистка абразивным полотном после резца и фрезы	7	—	7...10	—	2...3	—
Круглое шлифование:						
чистовое	—	—	6...10	6...10	3а...4	—
тонкое	—	—	—	11...12	2...3	< 1
Плоское шлифование:						
чистовое	—	—	—	6...8	2...3	—
тонкое	—	—	—	9...10	2	—

Продолжение табл. 6

Вид обработки	Классы шероховатости в зависимости от применяемых материалов				Классы точности	
	неметаллические	легкие сплавы	латунь (бронза)	сталь	экономичные	достижимые
Нарезание резьбы:						
наружное: плашкой	—	6	6	6	2...3	—
наружное: резцом, гребенкой, фрезой	—	—	6...8	6...8	1...2	—
наружное: накатыванием	—	—	—	8...9	3	—
наружное: шлифованием	—	—	—	8...10	1...2	—
внутреннее: метчиком	—	5...6	5...6	5...6	2...3	—
внутреннее: резцом, гребенкой, фрезой	—	—	—	6...8	2...3	—
Обработка зубьев колес:					3	
строгание конических колес	—	—	6...7	6...7	2...4	—
фрезерование	—	—	6...8	6...8	2...4	—
шлифование и доводка	—	—	7...10	7...10	1...2	—
Прошивание:						
чистовое	—	—	—	—	2...3	—
тонкое	—	—	—	—	2	—
Калибрование шариками после:						
сверления	—	—	—	7...9	—	—
растачивания	—	—	—	7...9	—	—
развертывания	—	—	—	7...12	—	—
Шевингование	—	—	—	6...9	2	—
Притирка:						
чистовая	—	—	—	6...9	2	—
тонкая	—	—	—	7...11	1	—
Полирование:						
обычное	—	—	7...10	7...10	2	—
тонкое	—	—	—	11...12	1	—
Доводка ручная:						
отделочная	—	—	—	12...13	1	—
зеркальная	—	—	—	13...14	1	—
Хонингование:						
среднее	—	—	—	9...10	2	—
тонкое	—	—	—	11...13	1	—
Суперфиниширование:						
чистовое	—	—	—	9...10	1	—
тонкое	—	—	—	10...11	1	—
двукратное	—	—	—	12...14	1	—
Анодно-механическое шлифование:						
чистовое	—	—	—	8...10	2	—
притирочное	—	—	—	9...11	1...2	—
отделочное	—	—	—	10...12	1	—
Электрополирование:						
декоративное	—	12...14	10...11	6...9	2...3	—
никелевых покрытий	—	—	—	8...9	—	—
Ультразвуковая обработка	—	—	—	8...10	2	—

При технологической целесообразности для оценки микрогеометрии поверхности применяют также метод среза. Исследуемую поверхность покрывают слоем хрома толщиной 5...10 мкм, а затем производят срез под углом 1...2°; срезанную плоскость травят, после чего фотографируют. Фотоснимок представляет собой профилограмму, у которой горизонтальным увеличением является увеличение, полученное при фотографировании, а вертикальным является горизонтальное увеличение, умноженное на увеличение, полученное от косого среза. Увеличение от косого среза при угле среза 1° составляет 60, а при угле среза 2° — 30 раз. С помощью косого среза можно получить профилограмму с вертикальным увеличением до 8000.

§ 18. Зависимость шероховатости поверхностей и точности от видов обработки

Практикой и исследованиями определены взаимосвязи между видами обработки и шероховатостью поверхности. Так, например, установлено, что средняя высота неровностей не должна превышать 10...25% от допуска на обработку. Это позволило установить достижимую шероховатость поверхности для различных видов обработки, а с учетом затрат при любом другом способе обработки — и экономически достижимую шероховатость поверхности. Характеристики этих взаимосвязей приведены в табл. 6, где указаны экономичные и наряду с ними достижимые классы шероховатости поверхности, а также экономичные и достижимые классы точности при различных видах обработки.

Глава IV
БАЗЫ И БАЗИРОВАНИЕ

§ 19. Понятие о базах, их классификация и назначение

В зависимости от служебного назначения все поверхности детали подразделяются на основные, вспомогательные, исполнительные и свободные.

Под основными понимают поверхности, с помощью которых определяют положение данной детали в изделии. Так, на рис. 21 цилиндрические поверхности крайней шейки *2* (*2'*) (их ось) и уступ *1* (*1'*) ступенчатого вала являются основными, определяющими положение вала в корпусе *6* (*6'*); уступы препятствуют перемещению вала вдоль оси.

Вспомогательными называют поверхности детали, определяющие положение всех присоединяемых деталей относительно данной. Так, на рис. 21 у ступенчатого вала имеются два комплекта вспомогательных поверхностей для установки с двух сторон зубчатых колес. Каждый комплект состоит из трех элементов: шейки *3* (*3'*), уступа *5* (*5'*) и шпоночной канавки.

Исполнительные поверхности — поверхности, выполняющие служебное назначение. Так, на рис. 21 исполнительной поверхностью является профиль зубчатого колеса.

Свободной поверхностью называется поверхность, не соприкасающаяся с поверхностями других деталей и предназначенная для соединения основных и вспомогательных поверхностей и исполнительной поверхности между собой с образованием совместно необходимой для конструкции формы детали. На рис. 21 свободной поверхностью является поверхность шейки *4*.

Базой называют поверхность, заменяющую ее совокупность поверхностей, ось, точку детали или сборочной единицы, по отношению к которым ориентируются другие детали изделия или поверхности детали, обрабатываемые или собираемые на данной операции (ГОСТ 21495—76).

По характеру своего назначения (при конструировании, изготовлении деталей, измерении и сборке механизмов и машин) базы подразделяются на конструкторские, технологические и измерительные.

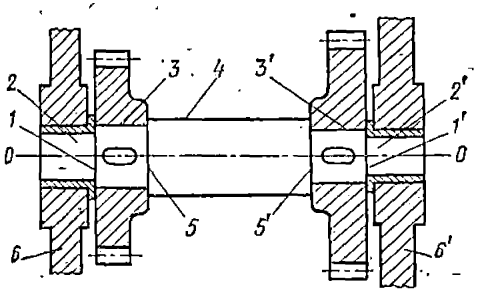


Рис. 21.

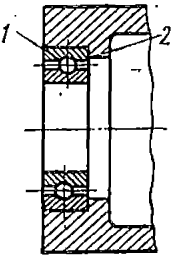


Рис. 22.

Группу конструкторских баз составляют *основные* и *вспомогательные* базы, учет которых при конструировании (выборе конструктивных форм поверхностей, их относительного положения, простановки размеров, разработке норм точности и т. п.) имеет существенное значение. Основная база определяет положение самой детали или сборочной единицы в изделии, а вспомогательная база — положение присоединяемой детали или сборочной единицы относительно данной детали.

Как правило, положение детали относительно других деталей определяют комплектом из двух или трех баз. Так, основными базами ступенчатого вала (рис. 21) являются ось валика *ОО* и уступ *1* или *1'*, а вспомогательными базами — поверхности крайних шеек вала *2* или *2'* и уступ *1* или *1'*.

На рис. 22 поверхность *1* шарикоподшипника определяет положение его центра относительно корпуса, в который он запрессован, а поверхность *2* (поверхность торца шарикоподшипника) — положение шарикоподшипника при установке вдоль его оси. Таким образом, для данного случая установки шарикоподшипника поверхности *1* и *2* являются основными и вспомогательными базами.

Технологической базой называют поверхность, определяющую положение детали или сборочной единицы в процессе их изготовления.

Измерительной базой называют поверхность, определяющую относительное положение детали или сборочной единицы и средств измерения.

Как известно из теоретической механики, требуемое положение твердого тела относительно системы координат *Oxyz* может быть задано путем наложения на него шести двусторонних связей, лишающих тело трех перемещений вдоль осей *Ox*, *Oy* и *Oz* и трех поворотов вокруг этой оси. Наложение двусторонних связей достигается соприкосновением базирующих поверхностей тела с базирующими поверхностями других тел (или тела), к которым (или которому) оно присоединяется, и приложения силового замыкания для обеспечения необходимого контакта. Поэтому независимо от назначения базы могут

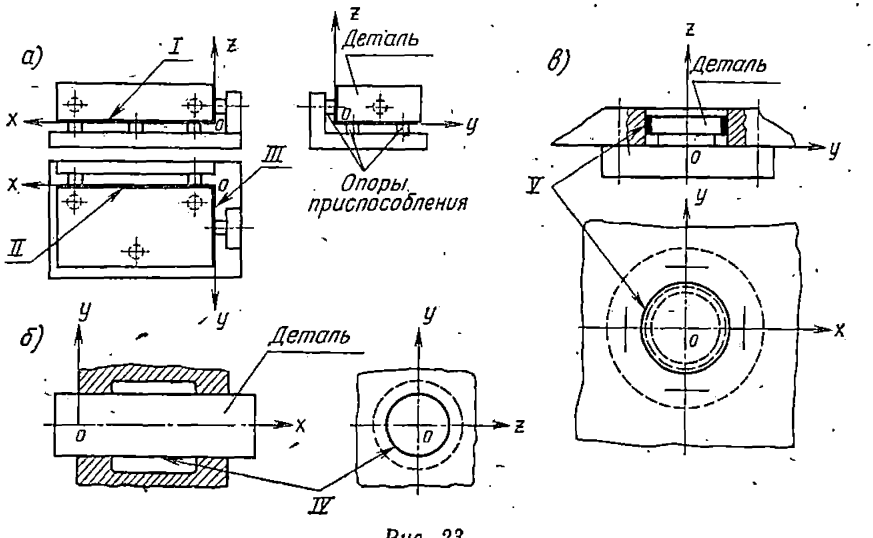


Рис. 23.

различаться лишь по числу отнимаемых от базируемой детали или сборочной единицы степеней свободы и по конструктивному оформлению.

По числу лишаемых базой степеней свободы они подразделяются на установочные, направляющие, опорные, двойные направляющие и двойные опорные.

Установочной называется база, лишающая деталь или сборочную единицу трех степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг двух других осей (рис. 23, *а*, поверхность *I*).

Направляющей называется база, лишающая деталь или сборочную единицу двух степеней свободы — перемещения вдоль одной координатной оси и поворота вокруг другой оси (рис. 23, *а*, поверхность *II*).

Опорной называется база, лишающая деталь или сборочную единицу одной степени свободы — перемещения вдоль одной координатной оси или поворота вокруг оси (рис. 23, *а*, поверхность *III*).

Двойной направляющей базой называется база, лишающая деталь или сборочную единицу четырех степеней свободы — двух перемещений вдоль двух координатных осей и поворотов вокруг этих же осей (рис. 23, *б*, поверхность *IV*).

Двойной опорной называется база, лишающая деталь или сборочную единицу двух степеней свободы — перемещения вдоль двух координатных осей (рис. 23, *в*, поверхность *V*).

По оформлению базы подразделяются на скрытые и конструктивно оформленные. К скрытым базам относятся мысленно проводимая плоскость, ось или точка, используемые в качестве одной из баз (рис. 24, *II* и *III*); к конструктивно оформленным — реальная поверхность детали или заменяющее ее сочетание поверхностей, используемое в качестве одной из баз (рис. 24, *I*).

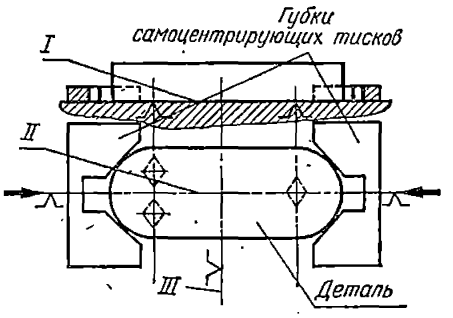


Рис. 24.

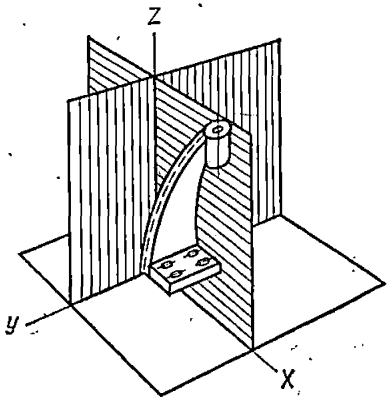


Рис. 25.

В ряде случаев используют плоскости, мысленно проводимые перпендикулярно обрабатываемым поверхностям через оси симметрии детали или параллельно им. Нередко скрытые базы материализуют, т. е. на поверхность детали разметкой наносят риски, которые представляют собой следы пересечения скрытых баз с поверхностью детали.

На рис. 25 показана схема образования скрытых баз на кронштейне и их материализации путем нанесения разметочных рисок и накернивания. Установочной базой кронштейна является нижняя плоскость с четырьмя отверстиями; она же является и основной базой, так как этой плоскостью кронштейн присоединяется к соответствующему узлу машины. Так как верхняя часть кронштейна является направляющей и неизменность ее положения — это конструктивное требование, а обрабатывается только установочная база, то приходится пользоваться скрытыми базами, образующими необходимое количество опорных точек, которые обеспечивают неподвижность обрабатываемой заготовки (ребро кронштейна и отверстие в верхней части).

В ряде случаев скрытые базы материализуют в виде технологических приливов, используемых при установке заготовки на станке или в приспособлении.

Для наибольшей точности изготовления деталей, а следовательно, и лучших эксплуатационных результатов необходимо стремиться к тому, чтобы конструкторские и технологические базы представляли собой одни и те же поверхности, т. е. чтобы по возможности осуществлялась установка заготовки при обработке и измерении от тех же поверхностей, которые будут определять положение детали или сборочной единицы в изделии. Во всех случаях, когда конструкторские и технологические базы не совпадают, возникают погрешности базирования (измерения), что приводит к необходимости перерасчета допусков.

При обработке деталей для их ориентации могут быть использованы базы, состоящие из одной, двух или трех базирующих поверхностей и несущие в общей сложности три, четыре, пять или шесть опорных точек.

Чем проще установочная база, тем меньше в нее входит базирующих поверхностей и меньше содержится опорных точек, тем проще и дешевле приспособление для закрепления детали на станке. Поэтому при выборе базы для обработки детали необходимо стремиться использовать наименьшее число базирующих поверхностей с наименьшим числом опорных точек.

В современном производстве базирование обрабатываемой заготовки по опорным установочным базам позволяет осуществить автоматизацию обработки в пределах заданной точности, которая обеспечивается заранее установленным на требуемый размер режущим инструментом или использованием упоров и копиров, причем обрабатываемые заготовки в этом случае должны занимать после установки на станке одно и то же положение.

§ 20. Основные схемы базирования

Схемы базирования зависят от формы поверхностей обрабатываемых заготовок, большинство которых, как правило, ограничено плоскими, цилиндрическими или коническими поверхностями.

Основными схемами базирования являются: 1) базирование призматических деталей; 2) базирование длинных цилиндрических деталей; 3) базирование коротких цилиндрических деталей.

Схема базирования призматических деталей. Эта схема предусматривает базирование заготовок деталей типа плит, крышек, картеров и др. Каждая обрабатываемая заготовка призматической формы, если ее рассматривать в системе трех взаимно перпендикулярных осей (рис. 26), имеет шесть степеней свободы: три перемещения вдоль осей Ox, Oy, Oz и три перемещения при повороте относительно этих же осей. Положение заготовки в пространстве определяется шестью координатами (рис. 26, штриховые линии).

Три степени свободы, т. е. возможность перемещаться в направлении оси Oz и вращаться вокруг осей Ox и Oy, ограничиваются тремя координатами, определяющими положение заготовки относительно плоскости xOy. Две степени свободы, т. е. возможность перемещаться в направлении оси Ox и вращаться вокруг оси Oz, ограничиваются двумя координатами, определяющими положение заготовки относительно

плоскости *yOz*. Шестая координата, определяющая положение заготовки относительно плоскости *xOz*, ограничивает ее возможность перемещения в направлении оси *Oy*, т. е. лишает ее шестой — последней степени свободы.

Этот порядок установки заготовок призматической формы называется *правилом шести точек*. Это правило распространяется не только на заготовки призматической формы, базируемые по их наружному контуру, но и на заготовки другой формы при использовании для их установки любых поверхностей, выбранных для базирования.

Увеличение опорных точек сверх шести не только не улучшает, но и ухудшает условия установки, так как обрабатываемая заготовка, как правило, имеет отклонения от правильной геометрической формы и местные неровности поверхности, что может приводить к самопроизвольной установке заготовки в приспособлении.

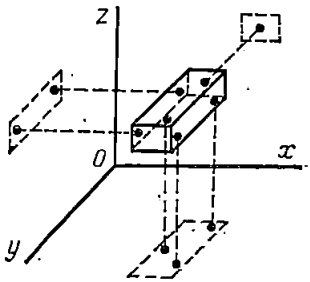


Рис. 26.

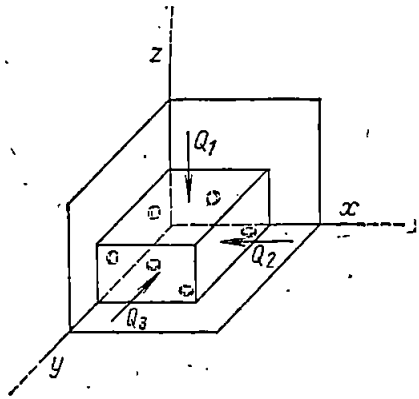


Рис. 27.

На рис. 27 приведена схема положения обрабатываемой заготовки в приспособлении, где силы зажима Q_1, Q_2, Q_3 образуют силовое замыкание базирования заготовки (штрихами показаны опорные точки). Нижняя поверхность заготовки с тремя опорными точками является *установочной базой*. Как правило, в качестве установочной базы выбирают поверхность с наибольшими размерами. Боковая поверхность с двумя опорными точками является *направляющей базой*, для которой выбирают поверхность наибольшей протяженности. Поверхность с одной опорной точкой является *опорной базой*.

Схема базирования длинных цилиндрических деталей. Из рис. 28 видно, что положение вала в пространстве определяется пятью координатами, которые лишают заготовку пяти степеней свободы перемещения в направлениях осей *Ox*, *Oy*, *Oz* и вращения вокруг осей *Ox* и *Oz*. Шестая степень свободы, т. е. вращение вокруг собственной оси, в данном случае ограничивается координатой, проведенной от поверхности шпоночной канавки *A*. Четыре опорные точки, расположенные на цилиндрической поверхности вала, образуют *двойную направляющую базу*. Опорная точка, расположенная на торце валика, и шпоночный паз определяют поверхности, служащие *опорными базами*.

На рис. 29 приведена схема положения обрабатываемой заготовки в призме приспособления, где торцевая поверхность вала, прижатая к ограничителю A приспособления, является опорной базой.

Схема базирования коротких цилиндрических деталей. К коротким цилиндрическим деталям относятся

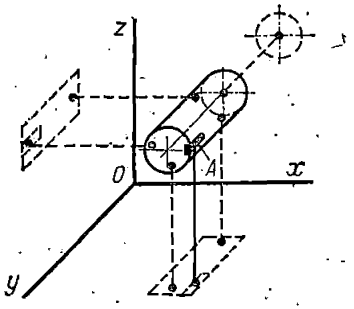


Рис. 28.

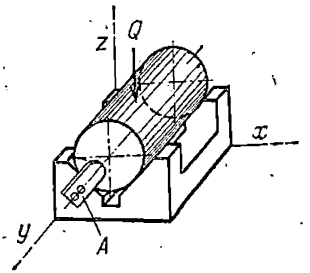


Рис. 29.

диски, кольца и пр. *Установочной базой* у этих деталей является торцевая поверхность, на которой размещаются три опорные точки (рис. 30). Две опорные точки, размещенные на короткой цилиндрической поверхности, образуют *двойную опорную базу*. Шестая степень свободы ограничивается в данном случае шпоночным пазом A.

Схемы полного базирования, т. е. базирования с лишением обрабатываемой заготовки всех шести степеней свободы,

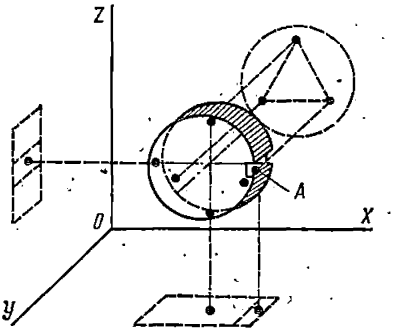


Рис. 30.

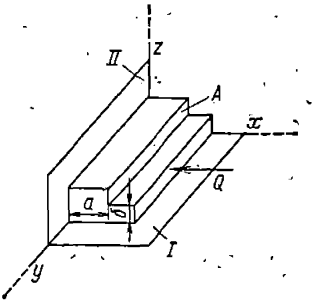


Рис. 31.

применяют при необходимости получить точную координацию размеров в трех направлениях по осям x, y, z; для базирования таких заготовок необходим комплект из трех баз.

При необходимости получения размеров в двух или только в одном направлении можно применять схему упрощенного базирования.

На рис. 31 показана заготовка с подлежащим обработке уступом A, положение которого определяется размерами a и $б$. Неточность уста-

новки заготовки относительно оси y не имеет значения, поэтому в данном случае достаточно использовать две базирующих поверхности *I* и *II*, а торец заготовки использовать как опорную (но не базирующую) поверхность, прилегающую к упору (на схеме не показан), который предусмотрен для восприятия продольной составляющей силы резания.

§ 21. Погрешности базирования и закрепления обрабатываемой заготовки

В процессе обработки заготовки возникают отклонения от геометрической формы и размеров, заданных чертежом, которые должны находиться в пределах допусков, определяющих наибольшие допустимые значения погрешностей размеров и формы заготовки или детали.

Окончательная, или суммарная, погрешность по любому размеру или форме складывается из первичных погрешностей, которые образуются из погрешностей установки заготовки, настройки станка и самой обработки.

Погрешность установки заготовки ε_y возникает при установке заготовки непосредственно на станке или в приспособлении и складывается из погрешностей базирования $\varepsilon_б$ и погрешности закрепления $\varepsilon_з$. Погрешность настройки станка $\Delta_н$ и погрешность обработки $\Delta_{об}$ возникают при установке режущего инструмента на размер или при установке упоров и копиров, а также непосредственно в процессе обработки. Эти виды погрешностей рассмотрены в гл. I и поэтому здесь приведены как составляющие окончательной погрешности, характеризующие условия обеспечения заданной точности того или иного размера обрабатываемых заготовок.

Погрешность установки ε_y как суммарная погрешность базирования и закрепления обрабатываемой заготовки в ряде случаев значительно влияет на точность размеров заготовки и взаимного положения обрабатываемых поверхностей. Погрешности ε_y возникают в результате таких причин, как неточности формы базовых поверхностей попадание стружки и т. п.

Погрешность базирования $\varepsilon_б$ возникает в результате базирования заготовки в приспособлении по технологическим базам, не связанным с измерительными базами. При базировании по конструкторской основной базе, являющейся и технологической базой, погрешность базирования не возникает. Погрешности базирования можно определять расчетом геометрических связей принятой схемы базирования. Погрешности $\varepsilon_б$ возникают и при зажатии, в результате которого может быть дальнейшее смещение баз под воздействием моментов сил зажатия, контактных деформаций (например, осадка при прихвате) и упругих деформаций приспособления.

Погрешность закрепления $\varepsilon_з$ образуется из погрешностей, возникающих до приложения силы зажатия и при зажатии. При работе на предварительно настроенных станках режущий инструмент, а также

упоры и копиры устанавливают на размер от установочных поверхностей приспособления до приложения нагрузки, поэтому сдвиг установочных баз приводит к погрешностям закрепления. Погрешности закрепления определяются расчетным и опытным путем для каждого конкретного способа закрепления заготовок (значения их приводят в справочных таблицах).

Для приближенного определения допустимой погрешности базирования $\varepsilon_{б.доп}$ можно пользоваться формулой

$$\varepsilon_{б.доп} \leqslant \delta - \Delta,$$

где δ — допуск на размер; Δ — величина погрешности на размер; примерные значения величины Δ для некоторых видов обработки приведены в табл. 1 (стр. 20).

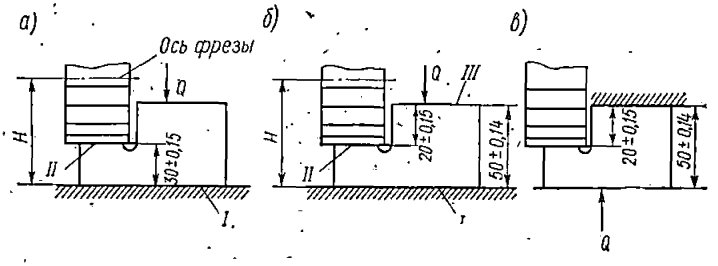


Рис. 32.

Действительная погрешность базирования $\varepsilon_б$ должна быть всегда меньше допустимой:

$$\varepsilon_б \leqslant \varepsilon_{б.доп}.$$

Рассмотрим несколько примеров расчета действительных погрешностей базирования при установке на плоскость, по наружной цилиндрической поверхности на призму и по отверстию на палец.

На рис. 32 приведена схема базирования обрабатываемой заготовки при фрезеровании с установкой на плоскость. На рис. 32, *а* плоскость *I* является измерительной базой и используется как установочная база, потому погрешность базирования не входит в суммарную погрешность, возникающую при фрезеровании в размер $30 \pm 0{,}15$ мм.

На рис. 32, *б* измерительной базой является плоскость *III*, а плоскость *I* является установочной базой. В этом случае погрешность базирования неизбежна, так как при неизменности настроечного размера *H* (размер от плоскости *I* до оси фрезы), а следовательно, и положения оси фрезы размер обрабатываемой поверхности *II* колеблется в пределах допуска на размер 50 мм, полученный при обработке на предыдущей операции. Следовательно, погрешность базирования будет соответствовать величине допуска на этот размер, или $\varepsilon_б = 0{,}28$ мм.

Таким образом, при фрезеровании размера $20 \pm 0{,}15$ мм на погрешность настройки и обработки остается $0{,}30—0{,}28 = 0{,}02$ мм,

что является недостаточным, поэтому необходимо или исключить погрешность базирования, или произвести перерасчет допусков, установленных чертежом.

Так как увеличение допуска на размер 20 мм без специального разрешения исключается, то для уменьшения погрешностей базирования следует уменьшить допуск на размер 50 мм (δ_{50}), приняв $\delta_{50} = \delta_{20} - \Delta$ (где Δ для размера 20 мм равна 0,1 мм); тогда $\Delta_{50} = 0{,}3-0{,}1 = 0{,}2$ мм, т. е. размер 50 мм следует указать с допуском $\pm 0{,}1$ мм. На рис. 32, *в* измерительная и установочная базы совмещаются, поэтому погрешность базирования размера 20 мм равна 0.

На рис. 33 приведены схемы установки вала диаметром D в призме при фрезеровании паза, размер которого задан от различных конструкторских баз. На рис. 33, *а* размер h_1 связан с верхней образующей вала. На рис. 33, *б* размер h_2 определяется от нижней образующей

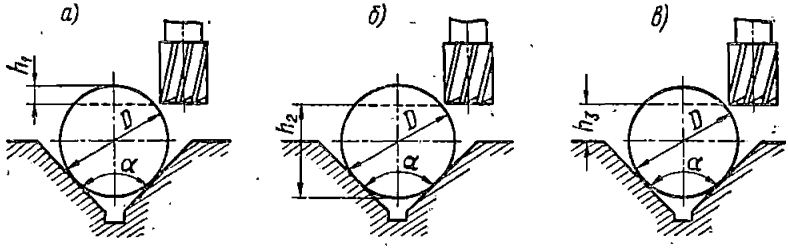


Рис. 33.

вала, а на рис. 33, *в* размер h_3 определяется от оси вала. Во всех случаях вал устанавливают на цилиндрическую поверхность, и, таким образом, погрешность базирования неизбежна и зависит от допуска на диаметр вала δ_D и угла призмы α.

Для расчета погрешностей базирования предположим, что на призме установлен вал с наибольшим предельным диаметром D_{max} и наименьшим предельным диаметром D_{min} (рис. 34); тогда величины Δh_1, Δh_2, Δh_3 из геометрических построений будут характеризовать величину погрешности базирования для каждой схемы соответственно:

$$\varepsilon_{б_1} = \Delta h_1 = \delta_D (1 + \sin \alpha/2)/(2 \sin \alpha/2);$$
$$\varepsilon_{б_2} = \Delta h_2 = \delta_D (1 - \sin \alpha/2)/(2 \sin \alpha/2);$$
$$\varepsilon_{б_3} = \Delta h_3 = \delta_D/(2 \sin \alpha/2).$$

Обозначив в правой части каждого уравнения выражения без δ_D соответственно коэффициентами k_1, k_2 и k_3, получим:

$$\varepsilon_{б_1} = \Delta h_1 = k_1 \delta_D; \quad \varepsilon_{б_2} = \Delta h_2 = k_2 \delta_D; \quad \varepsilon_{б_3} = \Delta h_3 = k_3 \delta_D.$$

Подставляя вместо угла α призмы его значения, получим числовые значения коэффициентов k_1, k_2, k_3 (табл. 7).

При угле 90° погрешности базирования составляют:

$$\varepsilon_{б_1} = 1{,}21\delta_D; \quad \varepsilon_{б_2} = 0{,}2\delta_D; \quad \varepsilon_{б_3} = 0{,}7\delta_D.$$

Таблица 7. **Значения коэффициентов k**

Коэффициент	Угол призмы α			
	60°	90°	120°	180°
k_1	1,5	1,21	1,07	1,0
k_2	0,5	0,2	0,08	—
k_3	1,0	0,7	0,58	0,5

Рассмотрим пример базирования обрабатываемой заготовки по отверстию. При установке обрабатываемых заготовок на оправку или палец с зазором возникают погрешности базирования вследствие зазора. При установке обрабатываемых заготовок на оправку или палец с натягом погрешность базирования в радиальном направлении отсутствует.

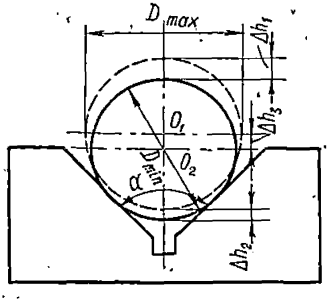


Рис. 34.

На рис. 35 приведена схема установки на жесткую оправку заготовки для обработки наружных поверхностей. Конструкторской базой является ось отверстия заготовки, а установочной — цилиндрическая поверхность отверстия детали и торец. Конструкторская база (ось отверстия) при наличии зазора может смещаться относительно оси оправки на величину эксцентриситета, равную половине зазора. В результате несовпадения конструкторской и установочной баз возникает биение наружной поверхности относительно внутренней, являющееся погрешностью базирования, величина которой равна удвоенной величине эксцентриситета. Тогда

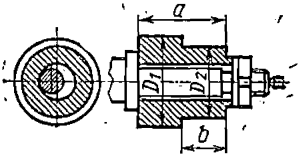


Рис. 35.

$$\varepsilon_{D_2} = \varepsilon_{D_1} = s_{max} = s_{min} + \delta_A + \delta_B,$$

где ε_{D_2}; ε_{D_1} — биение по диаметрам ступеней заготовки; s_{max}; s_{min} — максимальный и минимальный зазоры; δ_A, δ_B — допуски соответственно на диаметр отверстия и оправки.

Погрешности базирования при получении линейных размеров a и b составят:

$$\varepsilon_a = 0; \quad \varepsilon_b = \delta_a,$$

так как установочные и измерительные базы для размера a совместились, а для размера b не совместились.

Погрешности, возникающие при установке заготовок, влияют на точность взаимного расположения поверхностей, а так как каждая

готовая деталь имеет комплект черновых и обработанных поверхностей, то для взаимной увязки этих двух комплектов поверхностей необходимо строго выполнять основные положения выбора баз.

Основной предпосылкой увязки комплектов черновых и обработанных поверхностей является условие выбора черновой установочной базы. Такими базами могут служить поверхности или совокупность поверхностей, относительно которых при первой операции обрабатываются поверхности, используемые при последующих операциях в качестве базирующих. Таким образом, черновая база всегда должна использоваться для обработки установочных баз.

В качестве черновых баз у заготовок, обрабатываемых по всем поверхностям, следует принимать поверхности с наименьшими припусками. Не следует принимать за черновые базы поверхности разъема, а также неровные поверхности со следами от прибылей, литников и другими дефектами.

При выборе чистовых баз следует стремиться к тому, чтобы чистовые установочные базы были конструкторскими, что исключает погрешности базирования. Чистовые базы должны иметь наибольшую точность формы и размеров и высокий класс шероховатости поверхности; этому требованию удовлетворяют основные и вспомогательные базы заготовки, которые, как правило, и используют в качестве установочных баз. Установочные базы должны обладать наибольшей устойчивостью при базировании и обеспечивать наименьшие деформации заготовки от зажатия в приспособлении и воздействия силы резания. При выборе чистовых баз необходимо стремиться к тому, чтобы обработку поверхностей на всех операциях (установках) осуществлять с использованием одних и тех же установочных баз. Это требование называется *принципом постоянства баз.*

Глава V
ВЫБОР ЗАГОТОВОК

§ 22. Виды и способы изготовления заготовок

В современном производстве одним из основных направлений развития технологии механической обработки является использование черновых заготовок с экономичными конструктивными формами, обеспечивающими возможность применения наиболее оптимальных способов их обработки, т. е. обработки с наибольшей производительностью и наименьшими отходами. Это направление требует непрерывного повышения точности заготовок и приближения их конструктивных форм и размеров к готовым деталям, что позволяет соответственно сократить область применения обработки резанием, ограничивая ее в ряде случаев чистовыми, отделочными операциями.

Снижение трудоемкости последующих операций механической обработки заготовок, достигаемое рациональным выбором способа их изготовления, обеспечивает рост производства на тех же производственных площадях без существенного увеличения оборудования и технологической оснастки. Наряду с этим рациональный выбор

способов изготовления заготовок применительно к различным производственным условиям определяет степень механизации и автоматизации производства.

Машиностроение является крупнейшим потребителем металла. Так, годовой баланс потребления в прошедшей пятилетке составил 40% от общего выпуска металлопроката и свыше 77% от общего выпуска чугуна, стали и цветных металлов, при этом ~53% металлических материалов в процессе передела в металлургических, литейных и металлообрабатывающих цехах отошло в отходы, в том числе и безвозвратные.

Учитывая существенное значение в технологии производства повышения качественных показателей изготовления заготовок, в Основных направлениях развития народного хозяйства на 1976—1980 гг., утвержденных на XXV съезде КПСС, указано на необходимость обеспечения ускоренного развития специализированных мощностей по производству отливок и штамповок путем реконструкции на новой технической основе действующих и строительства новых литейных и кузнечно-штамповочных заводов и цехов с повышением качества и точности отливок и штамповок за счет внедрения в производство новых технологических процессов.

Последовательное использование передовых технологических процессов изготовления заготовок обеспечит необходимую материальную базу для опережающего развития машиностроения, создаст предпосылки для коренного улучшения использования материалов с резким сокращением их потерь и отходов, с доведением среднего коэффициента использования металлопередела до 0,59...0,60.

Выбор вида заготовки для дальнейшей механической обработки во многих случаях является одним из весьма важных вопросов разработки процесса изготовления детали. От правильности выбора заготовки, т. е. установления ее формы, размеров припусков на обработку, точности размеров (допусков) и твердости материала, зависящих от способа изготовления заготовки, обычно весьма сильно влияет на число операций или переходов, трудоемкость и в итоге себестоимость процесса обработки и изготовления детали в целом. Вид заготовки в большинстве случаев предопределяет в значительной степени дальнейший процесс обработки детали. Если заготовка будет достаточно точно и хорошо изготовлена с припусками не более чем это необходимо для обработки, то механическая обработка детали может быть сведена к минимальному числу операций, минимальной трудоемкости и себестоимости.

Таким образом, при разработке процесса изготовления детали могут быть два принципиальных направления: а) получение заготовки, наиболее приближающейся по форме и размерам к готовой детали, когда на заготовительные цехи приходится как бы значительная доля трудоемкости изготовления детали и относительно меньшая доля приходится на механические цехи, и б) получение грубой заготовки с большими припусками, когда на механические цехи приходится основная доля трудоемкости и себестоимости изготовления детали.

В зависимости от масштаба, а следовательно, и типа производства будет более правильным то или иное из указанных направлений или какое-либо промежуточное между ними. Первое направление соответствует, как правило, массовому и крупносерийному производству, так как дорогостоящее современное оборудование заготовительных цехов, обеспечивающее высокопроизводительные процессы получения точных заготовок, экономически оправдывается лишь при больших масштабах производства. Второе же направление типично для индивидуального или мелкосерийного производства, когда применение указанного дорогого оборудования в заготовительных цехах неэкономично. Не следует, однако, изложенное понимать так, что в пределах индивидуального или серийного производства не могут быть достигнуты целесообразные решения об удовлетворительном качестве заготовок. Наоборот, экономически целесообразные для всякого производства качества заготовок могут быть всегда заранее предопределены при правильном подходе к их выбору, а следовательно, и к установлению способа изготовления заготовок.

Основными видами заготовок в зависимости от назначения деталей являются: отливки из черных и цветных металлов; заготовки из металлокерамики; кованые и штампованные заготовки; заготовки, штампованные из листового металла; заготовки из проката; сварные заготовки; заготовки из неметаллических материалов.

Отливки из черных и цветных металлов выполняют различными способами (рис. 36). Для заготовок простых форм с плоской поверхностью в условиях единичного и мелкосерийного производства применяют открытую формовку в почве по моделям, для крупных заготовок — закрытую формовку в почве по моделям или шаблонам. Ручную формовку в опоках по моделям или шаблонам применяют для мелких и средних отливок деталей, имеющих форму тел вращения. В настоящее время получает распространение способ литья в жидкие быстротвердеющие смеси. Этот способ исключает необходимость сушки форм в печах. В средне- и крупносерийном, а также массовом производстве применяют машинную формовку по деревянным или металлическим моделям. Отливки сложной конфигурации изготовляют в формах, которые собирают из стержней по шаблонам и кондукторам.

Отливки сложных форм из трудно обрабатываемых резанием сплавов изготовляют *по выплавляемым моделям*, при этом обеспечивается точность размеров по 4...5-му классам и шероховатости поверхности по 4...6-му классам. Литье по выплавляемым моделям применяется для изготовления отливок как из черных, так и цветных сплавов, причем в производстве отливок из сплавов, заливка которых должна производиться в холодные формы (например, магниевых), он соединяется со способом гипсовой формовки.

Высокая точность отливок с одновременным уменьшением припусков на механическую обработку достигается при *литье в оболочковые формы*. Этот способ, широко распространенный в настоящее время, основан на свойстве термореактивной смолопесчаной смеси принимать форму подогретой металлической модели и образовывать плотную и

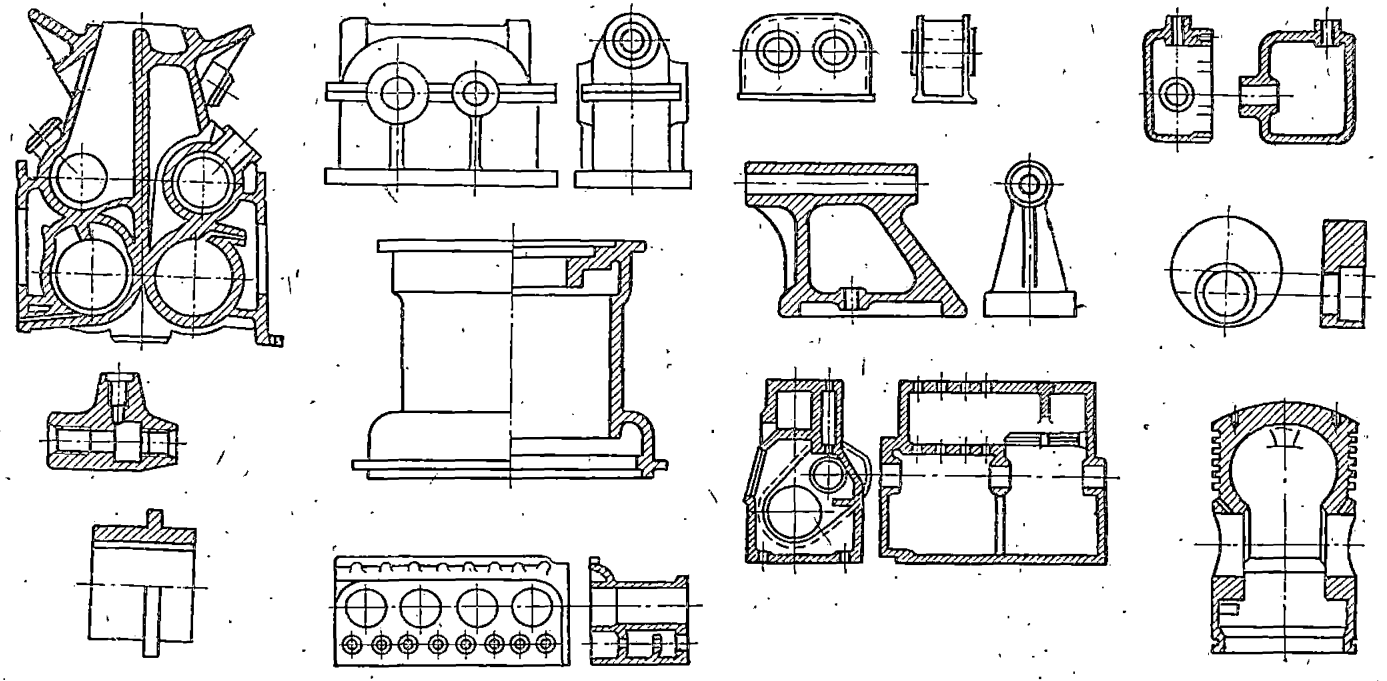


Рис. 36.

быстрозатвердевающую оболочку. В ряде случаев отливки, выполненные литьем в оболочковые формы, требуют незначительной последующей обработки; кроме того, этот способ производства отливок расширяет возможности применения автоматизации. Литье таким способом позволяет получать точность по 5...7-му классам и шероховатость поверхности по 7-му классу.

К прогрессивным способам изготовления литых заготовок относится способ *литья в металлические формы* (кокили), который исключает процесс формовки и связанный с ней процесс переработки и транспортировки формовочной земли, обеспечивает благоприятные условия охлаждения, а также простоту удаления отливок из формы. Прогрессивным является применение податливых металлических форм, изготовляемых из пакетов листовой стали, обладающих нормальной газопроницаемостью, а также тонкостенных водоохлаждаемых форм, в которых рабочая полость изготовляется в виде сменной штамповки. Применение вакуумного всасывания при кокильном литье расширяет область его использования для изготовления тонкостенных корпусных деталей из алюминиевых и магниевых сплавов, а применение принципа заливки в открытую форму и последующего выжимания при смыкании полуформ (метод «книжной» формовки) позволяет получать крупногабаритные тонкостенные отливки.

Для изготовления отливок с мелкозернистой структурой металла и повышенными механическими свойствами применяют *способ центробежного литья*, который получил наибольшее распространение при изготовлении отливок деталей, имеющих форму тел вращения (втулок, труб и т. д.), с обеспечением точности по 5-му классу.

Для изготовления заготовок деталей сложной конфигурации из цветных и других сплавов успешно применяют *способ литья под давлением*. Прочность отливок, изготовленных этим способом, на 30% выше прочности отливок, изготовленных литьем в земляные формы. Этот способ широко применяют в серийном и массовом производстве при изготовлении небольших деталей сложной формы на специальных высокопроизводительных автоматах. Так, современные автоматы для литья под давлением отливок массой до 300 г обеспечивают производительность до 6000...8000 отливок в час по 4...8-му классам шероховатости поверхности.

Заготовки из металлокерамики. Металлокерамические материалы и детали изготовляют из порошков различных металлов или из смеси их с неметаллическими порошками, например графита, кремнезема, асбеста и др. Этот вид заготовок применяют для производства деталей, которые не могут быть изготовлены другими методами, из тугоплавких элементов (вольфрама, молибдена, магнитных материалов и пр.), из металлов, не образующих сплавов, из материалов, состоящих из смеси металла с неметаллами (медь — графит), и из пористых материалов.

Способ получения металлокерамических материалов основан на прессовании тонких металлических порошков в требуемой смеси в пресс-формах под давлением 1000...6000 кгс/см^2 и последующем спекании при температуре немного ниже температуры плавления основного

компонента и носит название порошковой металлургии. Этим способом изготовляют подшипники скольжения (с антифрикционными свойствами), тормозные диски (с фрикционными свойствами), самосмазывающиеся втулки, в которых поры на 20...30% объема под давлением заполняются смазкой (пористые), а также детали для электро- и радиотехнической промышленности (контакты, магниты и др.).

Достоинством металлокерамической технологии является возможность изготовления деталей, не требующих последующей механической обработки.

Кованые и штампованные заготовки изготовляют различными способами, технологические характеристики которых приведены в табл. 8, а виды штамповок — на рис. 37.

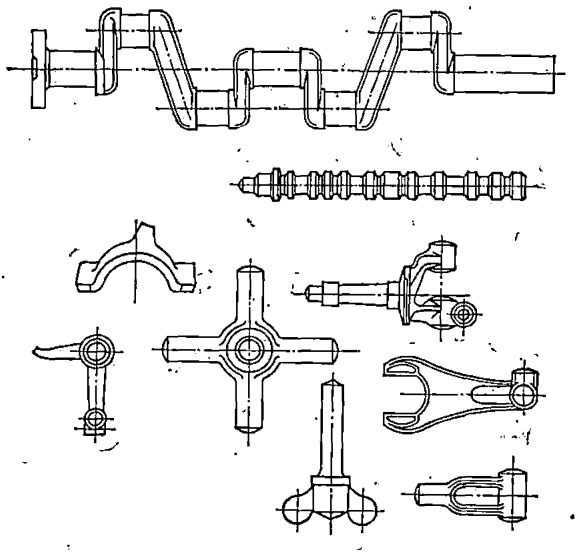


Рис. 37.

Так, для получения заготовок деталей единичного и мелкосерийного производства применяют ковочные молоты и гидравлические ковочные прессы. Заготовки, получаемые этим способом, характеризуются сравнительно грубым приближением к форме готовой детали и требуют больших затрат на последующую механическую обработку.

Для большего приближения формы заготовки к форме готовой детали в мелкосерийном производстве применяют *подкладные штампы.* Заготовку, предварительно выполненную свободной ковкой с помощью универсального кузнечного инструмента, помещают в подкладной штамп, где она принимает форму, более близкую к форме готовой детали.

В серийном и массовом производстве заготовки изготовляют на штамповочных молотах и прессах в открытых и закрытых штампах. В первом случае образуется облой, т. е. отход лишнего металла

Таблица 8. **Технологические характеристики способов получения поковок и штамповок**

Наименование способа	Масса, кг	Класс точности	Класс шероховатости	Припуск на сторону, мм	Кузнечные уклоны, град	Относительная себестоимость, %	Примечание
Ковка	< 240 т	9...11	1...3	3...16	5...10	200...300	
Штамповка в подкладных штампах	< 1500	9	1...3	3...12	5...10	130...220	
Штамповка на штамповочном паровоздушном молоте	< 200	7	2...4	0,75...4,25	5...7	100	
Штамповка на механическом прессе	< 200	5...7	2...3	0,3...2	0...3	86...100	
Штамповка на горизонтально-ковочной машине	< 200	5...7	3...4	1,5...3,25	Матрица 0; пуансон 0,5...3	70...75	Для поковок с высадкой длина отверстия не более 2,5...3ϕ прутка
Штамповка с плоскостной калибровкой	—	3...5	6...8	—	5...7	77...92	
Прессование на гидравлическом прессе	< 200	5...7	2...4	2,5...3	5...6, после протяжки 0	110...115	
Штамповка на ротационно-кузнечной машине	< 100	4...7	3...4	0,5...3	—	70...85	
Штамповка жидкого металла	< 3	4...5	3...5	0,2...1	3...5	90...110	Удельное давление в 6...8 раз меньше, чем при штамповке

в результате истечения; облой компенсирует неточность в массе исходной заготовки. Во втором случае облой отсутствует, следовательно, расход металла на заготовку меньше. Технологическими процессами, интенсифицирующими технологию штамповки, являются: штамповка заготовок из центробежных отливок и отливок в кокиль, штамповка методом выдавливания в обычных закрытых и разъемных штампах, безоблойная штамповка, штамповка из периодического проката, объемная штамповка из заготовок, полученных непрерывной разливкой стали.

Штамповка заготовок, отлитых методами центробежного и кокильного литья, предназначается для изготовления заготовок типа пустотелых цилиндров, минуя процессы разливки стали в слитки и последующую их прокатку и расковку. При этом процессе заготовки для последующей штамповки или раскатки отливаются на центробежной машине, а затем в горячем виде (при $t = 1250...1300°$ С) извлекаются из кокиля или центробежной машины.

Метод выдавливания особенно эффективен при совмещении его с подогретым прокатом и индукционным нагревом для изготовления таких крупных заготовок, как валы, валки, роторы и т. п.

Значительно бо́льшую экономию металла можно получить путем внедрения прогрессивных технологических процессов штамповки на кривошипных горячештамповочных прессах, штамповки (горячего выдавливания) в цельных и разъемных матрицах, малоотходной штамповки (безоблойной и с противодавлением).

Горячее выдавливание является эффективным процессом получения штамповок разнообразной конфигурации, чаще всего стержневых с фланцами различной формы, деталей с отростками и т. п., причем выдавливание как операция горячей штамповки часто применяется в качестве заготовительной операции для распределения металла в соответствии с формой детали, чем обеспечивается значительное сокращение отходов в облой.

Еще более эффективна разновидность технологической схемы выдавливания — *штамповка выдавливанием в разъемных матрицах*. Наличие второй линии разъема позволяет получать поковки с отростками и поднутрениями, близкими к конфигурации детали.

Сущность процесса *малоотходной штамповки* заключается в получении точных заготовок (преимущественно типа тел вращения) без облоя в закрытых штампах с компенсацией избытков металла (неизбежных при существующих способах резки заготовок) в специальные полости штампа. Одной из разновидностей малоотходной штамповки является штамповка деталей типа шестерен в *штампах с клиновой облойной канавкой*.

Существенным фактором экономии проката является применение для ковки и объемной штамповки заготовок, полученных *непрерывной разливкой стали*, не требующих высокой степени укова; причем эти заготовки могут быть применены непосредственно под штамповку, минуя прокатку.

Из других прогрессивных технологических процессов, внедрение которых обеспечивает более эффективное использование металла,

относится *вальцовка заготовок на ковочных вальцах* для распределения металла по длине заготовки перед штамповкой, в том числе многоклетьевых и автоматизированных, на которых заготовка требуемого переменного сечения может получаться за один проход; *радиальное обжатие* (редуцирование), осуществляемое как в горячем, так и в холодном состоянии; *раскатка*, применение периодического проката для предварительного формообразования заготовок под штамповку.

Одним из способов производства заготовок из отливок является *метод виброштамповки*. Преимуществом метода является создание лучших условий деформирования в связи с уменьшением внешнего трения и скорости деформации. Штамповка может осуществляться в одно- и многоручьевых штампах; мелкие заготовки штампуют в многоштучных штампах.

Для получения заготовок высадкой из пруткового материала применяют штамповку на горизонтально-ковочных машинах. Этот способ производителен и экономичен. Фасонные, а также пустотелые заготовки цилиндрической формы штампуют на гидравлических прессах. Пустотелые заготовки изготовляют путем прошивки отверстия с последующей протяжкой через кольцо или высадкой, а болты, заклепки и подобные детали — на фрикционных винтовых прессах в специальных сборных штампах с разъемными матрицами. При штамповке на фрикционных прессах достигаются высокая точность изготовленных заготовок, уменьшение расхода материала и высокая производительность. Так, при изготовлении заклепок производительность прессов составляет до 1000 шт. в час.

Для изготовления заклепок и других деталей болтозаклепочного типа в массовом производстве применяют также холодновысадочные пресс-автоматы. Производительность этих прессов достигает 400 шт. в минуту и более. Детали, полученные холодной высадкой из калиброванного проката, отличаются большой точностью (до 3-го класса). Для получения заготовок периодического профиля или для вытяжки металла в продольном и поперечном сечениях используют ковочные вальцы. Профиль переменного сечения получают, пропуская заготовку через ручей вальцов, сложный профиль — пропуская заготовку через несколько профилированных ручьев.

Точность размеров и классы шероховатости поверхностей штампованных заготовок повышают холодной калибровкой и плоскостным или объемным проглаживанием (чеканкой). Плоскостную чеканку применяют для небольших участков заготовок, а объемную — для заготовок небольшого размера. Заготовки можно чеканить и в горячем состоянии, однако точность горячей чеканки ниже, чем холодной. Горячую чеканку применяют преимущественно для крупных штампованных заготовок.

Штамповка заготовок из листового металла позволяет получать изделия простой и сложной конфигурации: шайбы, втулки, сепараторы подшипников качения, баки, облицовку автомобилей и т. д. Для этих изделий характерна почти одинаковая толщина стенок у каждого из них, мало отличающаяся от толщины исходного материала (рис. 38). Исходным материалом для листовой штам

повки являются листовой прокат, полосы и свернутые в рулоны ленты.

Холодной листовой штамповкой могут быть получены заготовки из низкоуглеродистой стали, пластичной легированной стали, меди, латуни (с содержанием меди более 60%), алюминия и некоторых его сплавов, а также из других пластичных материалов толщиной от десятых долей миллиметра до 6...8 мм. Заготовки, получаемые из листа холодной штамповкой, отличаются точностью размеров, во многих случаях не нуждаются в последующей механической обработке и поступают непосредственно на сборку.

Горячей листовой штамповкой могут быть получены заготовки из материала толщиной свыше 8...10 мм, а при низкой пластичности — из материала меньших толщин. Горячей листовой штамповкой изготовляют детали корпусов кораблей, днища и детали цистерн, котлов, химических машин, аппаратов и др.

Совершенствование технологических процессов листоштамповочного производства в целях более эффективного использования листового проката осуществляется в трех направлениях: замена листа широким рулоном, применение листа без положительных припусков и допусков на габариты и всемерная замена штампованных деталей деталями, изготовленными из гнутых профилей.

Дальнейшее развитие процессов холодной листовой штамповки основывается на применении целевого, комбинированного и универсального оборудования с использованием специальной оснастки, а именно: универсальных блоков для пакетных штампов, электромагнитных блоков для пластинчатых штампов, универсальных штампов для геометрически подобных деталей и для штамповки по элементам, пинцетных штампов для вырубки крупногабаритных деталей и для групповой штамповки, штампов с использованием резины, жидкости и другой эластичной среды и упрощенных штампов (ленточных, литых, пластмассовых, с использованием бетона, дерева и т. д.).

При изготовлении крупногабаритных листовых деталей в настоящее время широко применяют беспрессовую штамповку, называемую *гидравлической вытяжкой* и основанную на использовании в основном трех методов: гидравлического давления, электрогидравлического эффекта и энергии подводного взрыва взрывчатых веществ. Гидравлическая вытяжка может быть использована для формообразования деталей из алюминиевых сплавов толщиной до 5 мм и стали толщиной до 3 мм. Использование этого метода связано с применением высоких давлений порядка 200...250 кгс/см^2, передаваемого либо непосредственно жидкостью, либо посредством резиновой диафрагмы или мешка. Гидравлическая вытяжка отличается более равномерным распределением напряжений в металле, чем при вытяжке холодными пуансонами, что создает более благоприятные условия для формообразования с меньшими утонениями в процессе вытяжки.

При создании внутри объема жидкости специального сформированного импульсного высоковольтного разряда (электрогидравлический эффект) развиваются высокие давления, одиночные или групповые, которые передаются на заготовку непосредственно жидкостью или

посредством жесткого пуансона. Ряд последовательных разрядов производит постепенное формообразование листовой заготовки, принимающей в конце процесса форму матрицы.

Вытяжка с использованием энергии подводного взрыва взрывчатых веществ состоит в том, что к матрице, имеющей форму детали, с помощью складкодержателя прижимается листовая штамповка, над которой устанавливается емкость для воды. В заполненной водой установке на некотором расстоянии от листовой заготовки производится взрыв. Ударная волна, развивающаяся в жидкости, производит формообразование заготовки, воздействуя на нее либо непосредственно жидкостью, либо посредством жесткого пуансона.

К процессам холодной обработки давлением относятся холодная высадка и объемная штамповка выдавливанием.

Высадку применяют для образования местных утолщений требуемой формы путем перераспределения и перемещения объема металла. Выдавливание применяют для изготовления полых деталей, деталей меньшего поперечного сечения из толстой заготовки путем истечения металла в зазор между матрицей и инструментом. В зависимости от направления перемещения металла по отношению к инструменту различают три вида выдавливания: прямое — металл течет в направлении рабочего движения инструмента, обратное — обратно рабочему движению и комбинированное — сочетание прямого и обратного видов.

Прямое выдавливание применяют для изготовления сплошных деталей, а также пустотелых деталей типа гильз и труб. Обратное выдавливание применяют исключительно для получения пустотелых деталей. Комбинированное — для изготовления деталей более сложной формы: с фигурным дном, с дном, имеющим отростки, с дном, расположенным внутри полой детали, и т. п.

Для формообразования, калибровки, отделки поверхности деталей машин и их упрочнения при обработке давлением в холодном состоянии применяют процессы бесштамповочной обработки, основанные на пластической деформации металлов. К ним относятся накатка шестерен, шлиц и резьб, накатка и раскатка поверхностей шариками и роликами. Эти способы позволяют осуществить размерно-чистовую обработку, улучшить микрогеометрию поверхностей, в ряде случаев упразднив отделочную обработку в механообрабатывающих цехах.

Находит применение также метод обкатки роликами (гидросплиннинг), успешно заменяющий не только обработку резанием и давильные работы, но и вытяжку. Этот способ заключается в постепенном обжатии роликами листовой, штампованной или литой заготовки, полученной на принудительно вращающейся оправке. Большие давления на ролики, достигающие 250 кгс/мм^2, осуществляемые гидравлическим приводом, позволяют весьма производительно обжимать полые детали цилиндрической, конической и параболической форм со значительным уплотнением исходной заготовки и получать детали сложной конфигурации с большим перепадом сечений с точностью в пределах 4-го класса и шероховатостью поверхности 7...8-го классов.

Все операции листовой штамповки можно разделить на две группы: разделительные операции, в ходе которых одну часть заготовки отделяют от другой, и формоизменяющие операции, в которых одна часть заготовки перемещается относительно другой без разрушения заготовки (в пределах пластических деформаций).

К разделительным операциям относятся: отрезка, вырубка, пробивка, зачистка; к формоизменяющим — гибка, вытяжка, обжим, отбортовка, рельефная формовка, формовка.

Исходный толстый лист разделывают на мерные заготовки преимущественно газовой резкой. В ряде случаев в единичном и мелкосерийном производстве отдельные детали плоской формы также целесообразнее изготовлять из листа посредством газовой резки.

Перед холодной листовой штамповкой исходный лист разделывают на мерные заготовки обычно отрезкой на гильотинных и дисковых ножницах с последующей штамповкой на кривошипных листоштамповочных прессах различной конструкции усилием 6...4500 тс.

Горячую листовую штамповку производят преимущественно на гидравлических листоштамповочных и фрикционных винтовых прессах, реже — на кривошипных листоштамповочных прессах. Из специального оборудования для обработки листов в горячем состоянии следует отметить трех- и четырехвалковые гибочные вальцы, предназначенные для гибки листа в обечайку путем реверсивного прокатывания листа между постепенно сближающимися валками.

Нагрев перед штамповкой ведут обычно в пламенных камерных печах периодического действия или в методических печах непрерывного действия. Прогрессивным способом нагрева является индукционный электронагрев. При этом методе продолжительность нагрева сокращается в 5...6 раз, а слой окалины уменьшается в 2...3 раза по сравнению со слоем окалины, полученным в пламенных печах. Резко повышается точность штамповки, создаются возможности автоматизации процесса, значительно улучшаются условия труда в прессовых (кузнечно-штамповочных) цехах.

Для точной штамповки мелких заготовок рекомендуется безокислительный электронагрев в газозащитной атмосфере. Этот метод позволяет получать заготовки также без окалины.

Заготовки из круглого проката для деталей формы вала в большинстве случаев более целесообразны, чем кованые или штампованные заготовки. Однако в тех случаях, когда масса заготовки из проката превышает массу штамповки более чем на 15%, целесообразней применять штампованные заготовки.

Изготовление заготовок из труб также является одним из рациональных способов. Несмотря на то что тонна горячего проката стоит в среднем в 1,5 раза меньше, чем тонна труб, тем не менее экономия металла при производстве деталей из труб по сравнению с изготовлением из круглого проката может перекрыть разницу в ценах этих двух видов проката. Исключение может быть сделано только для деталей, которые подвергаются дальнейшей неоднократной обработке (сверлению, фрезерованию и др.) и если коэффициент использования материала ниже 0,5.

Максимального подобия конструктивных форм и размеров заготовок готовым деталям можно достигнуть применением специальных профилей металла. Применение *периодического проката*, т. е. проката с максимальным подобием заготовки с деталью, обеспечивает повышение коэффициента использования металла при штамповке

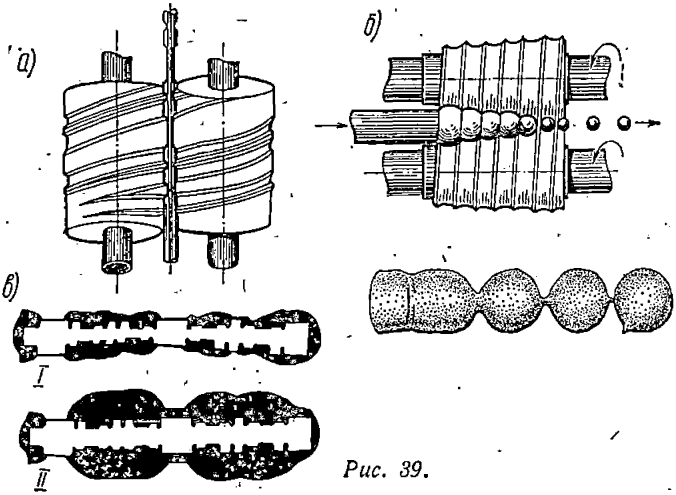


Рис. 39.

в среднем на 10...15% вследствие сокращения потерь на облой, содействуя одновременно повышению производительности труда как в заготовительных, так и в механообрабатывающих цехах. На рис. 39 приведены схемы периодической прокатки различных заготовок: шатуна (*а*); шаров, изготовленных методом поперечной раскатки (*б*), а также сравнение объема отходов при изготовлении заготовок распределительного вала из прутка и периодического проката (*в*). В приведенном примере масса заготовок, изготовленных из обычных профилей: шатуна — 2,23 кг, распределительного вала — 7,95 кг и шаров ∅ 300 мм — 0,164 кг, а при использовании периодического проката — соответственно 1,62, 6,32 и 0,125 кг, что составляет экономию металла 27, 13 и 24%.

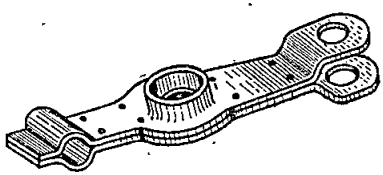


Рис. 40.

Из готового профильного проката заготовки изготовляют преимущественно в массовом производстве. Во многих случаях этот способ не требует применения механической обработки или ограничивает ее отделочными операциями.

Сварные заготовки позволяют получать изделия такой конфигурации, которая обычно получается в результате литья или обработки резанием. В современном машиностроении применяют *штампосварные* заготовки (рис. 40).

Замена деталей, полученных из отливок и изготовленных обработкой резанием, штампосварными значительно снижает себестоимость.

Наряду со штампосварными заготовками применяют также и *сварно-литые*. Особенно это имеет распространение при изготовлении заготовок для ряда корпусных деталей, отличающихся большим разнообразием конструктивных форм, размеров, массы и материалов. Заготовку делят на ряд простейших частей, получаемых литьем, а затем соединяют их сваркой, образуя сварно-литую заготовку детали. Так изготовляют, например, траверсы прессов, статоры турбин, станины станков и др. Этот вид заготовок резко снижает трудоемкость изготовления и металлоемкость изделия.

Применяют также заготовки из штампованных и литых частей, соединенных сваркой.

Заготовки из неметаллических материалов. К неметаллическим материалам, широко применяемым в машиностроении, относятся: пластические массы, древесина, резина, бумага, асбест, текстиль, кожа и др. Неметаллические материалы, обеспечивая необходимую прочность при небольшой массе изготовляемых из них деталей, придают деталям высокие фрикционные свойства, химическую устойчивость (к воздействию растворителей), водо-, газо- и паронепроницаемость, высокие изоляционные свойства и другие ценные качества.

Пластическими массами называют такие материалы, которые на определенной стадии их производства приобретают пластичность, т. е. способность под воздействием давления принимать соответствующую форму и сохранять ее после снятия давления. В зависимости от химических свойств исходных смолообразных веществ пластические массы, получаемые на их основе, делят на две основные группы: 1) *термореактивные* пластические массы, полученные на основе термореактивных смол и отличающиеся тем, что при действии повышенных температур они претерпевают ряд химических изменений и превращаются в неплавкие и практически нерастворимые продукты; 2) *термопластичные* массы (термопласты), полученные на основе термопластичных смол и отличающиеся тем, что при нагревании они размягчаются, сохраняя плавкость, растворимость и способность к повторному формованию.

Разнообразие физико-химических и механических свойств и простота переработки в изделия обусловливают широкое применение различных видов пластических масс в машиностроении и других отраслях народного хозяйства. Сравнительно небольшая плотность (1...2 г/см^3), значительная механическая прочность и высокие фрикционные свойства позволяют в ряде случаев применять пластические массы в качестве заменителей металлов, например, цветных металлов и их сплавов — бронзы, свинца, олова, баббита и т. п. (для изготовления подшипников), а при наличии некоторых специальных свойств (например, бесшумность в работе, антикоррозионность) пластмассы можно использовать и в качестве заменителей черных металлов. Высокие электроизоляционные свойства способствуют применению

пластических масс в электро- и радиопромышленности в качестве диэлектриков и заменителей таких материалов, как фарфор, эбонит, шеллак, слюда, натуральный каучук и многие другие. Хорошая химическая стойкость при воздействии растворителей и некоторых окислителей, водостойкость, газо- и паронепроницаемость позволяют применять пластические массы как технически важные материалы в автотракторной, судостроительной и других отраслях промышленности.

Детали из пластических масс получают прессованием, литьем под давлением и литьем в формы.

Прессование. Наиболее распространенным способом получения деталей из пластических масс является способ горячего прессования при необходимом давлении и определенном температурном режиме. В качестве основного оборудования для прессования пластмасс обычно применяют гидравлические прессы. Однако в некоторых случаях можно применять и другие типы прессов, например фрикционные, винтовые.

Прессование производят в металлических пресс-формах, устанавливаемых на прессах. Пресс-формы являются основным видом оснастки в производстве изделий из пластических масс. Во время прессования пресс-формы находятся в очень неблагоприятных эксплуатационных условиях. Они воспринимают многократные силовые нагрузки (давление пресса, достигающее 200...300 кгс/см², а иногда 600...800 кгс/см²), систематическое воздействие высоких температур (до 190° С) и агрессивное коррозионное воздействие выделяющихся в процессе прессования продуктов химических превращений.

Литье под давлением. Важным промышленным способом производства деталей из пластмасс является способ литья под давлением. Он во многом сходен со способом литья под давлением металлов. Сущность его заключается в следующем: в загрузочные приспособления специальных машин помещают пластическую массу, которая затем поступает в обогревающее устройство, где она расплавляется и под действием поршня (плунжера), передающего высокое давление, впрыскивается в пресс-форму, в которой формуется деталь. Машины для литья под давлением пластмасс высокопроизводительны: съем деталей с них достигает 12...16 тыс. шт. за смену. Этим способом можно изготовлять различные детали со сложными резьбами и профилями, тонкостенные детали и т. п.

Литье в формы применяют в тех случаях, когда детали изготовляют из связующего без наполнителя. Этот способ применяют также для получения различных литых термореактивных пластмасс, как, например, литой карболит, неолейкорит, литой резит, а также некоторые литые термопластичные материалы — органическое стекло, полистирол и др.

Детали из слоистых пластиков имеют большое распространение в машиностроении (например, различные зубчатые колеса и подшипники). Текстолитовые зубчатые колеса отличаются от металлических бесшумностью на ходу и устойчивостью против влияния различных агрессивных сред. В ряде случаев текстолитовые зубчатые колеса

почти совсем вытеснили зубчатые колеса из цветных металлов. Их применяют для передачи вращения от электродвигателей в быстроходных металлообрабатывающих станках, устанавливают на распределительных валах двигателей внутреннего сгорания и в других случаях. В химической промышленности текстолитовые зубчатые колеса применяют в различных аппаратах и приборах, где они гораздо лучше сопротивляются различным агрессивным воздействиям, чем зубчатые колеса из бронзы, латуни и кожи. Помимо зубчатых колес из текстолита изготовляют некоторые другие передаточные устройства — ролики, кольца и т. п.

Древесина различных пород, являющаяся сравнительно дешевым материалом, применяется во многих отраслях современного машиностроения. Например, в сельскохозяйственном машиностроении и автотракторостроении используется древесина сосны, ели, кавказской пихты, лиственницы, дуба, бука, ясеня, березы, клена, граба, ильмы, вяза. Из древесины твердых лиственных пород и лиственницы изготовляют ответственные детали сельскохозяйственных машин, подвергающиеся большим нагрузкам.

Древесные материалы применяют в машиностроении как конструкционные материалы, главным образом в виде шпона, клееной фанеры, цельнопрессованной древесины и древесных пластиков.

Для повышения устойчивости древесины против гниения ее специально обрабатывают: сушат на воздухе и в специальных сушильных камерах, а также пропитывают медным купоросом, хлористым цинком или креозотом и окрашивают.

Из древесных материалов можно формировать различные криволинейные изделия методами холодного и горячего гнутья. Метод *холодного гнутья* заключается в том, что на шаблоне выгибают и запрессовывают заготовку в виде набора тонких деревянных пластинок, покрытых клеем, без подогрева. При *горячем гнутье* заготовку предварительно проваривают или пропаривают, вследствие чего она приобретает пластичность, затем выгибают на шаблоне и в таком положении зажимают и помещают в сушильную камеру.

Наряду с обычной древесиной (так называемым массивом) в машиностроении применяют фанеру и слоистые древесные материалы. Фанера представляет собой листовой материал, изготовленный путем склеивания между собой нескольких тонких деревянных листов (шпона). Для изготовления конструкционных силовых деталей применяют многослойную или плиточную фанеру толщиной 25...30 мм.

Тонкие листы (шпон), пропитанные специальными смолами и подвергнутые горячему прессованию, образуют так называемые *древеснослоистые пластики*, широко применяемые в текстильном и электротехническом машиностроении, а также в качестве заменителя подшипников из цветных металлов в гидравлических машинах, механизмах, работающих в абразивной среде.

Механическую обработку изделий из древесины производят на металлорежущих и деревообрабатывающих станках.

§ 23. Основные требования к заготовкам

При выборе заготовок (отливка, штамповка, прокат и др.) учитывают форму, размеры и массу детали, материал (назначаемый исходя из эксплуатационных условий), масштаб производства, периодичность повторения, размеры припусков на обработку и точность размеров (допуски).

Материал заготовок обычно задается на рабочем чертеже конструктором. Вид заготовки, форму и размеры определяют, исходя из условий наибольшей простоты и экономичности обработки с учетом конкретных производственных возможностей заготовительных цехов и сроков окупаемости капитальных затрат на подготовку производства.

Правильное решение в выборе заготовок, если по техническим условиям применимы различные их виды, можно получить только на основе технико-экономических расчетов путем сопоставления технологической себестоимости детали при том или другом виде заготовки. Однако при выборе заготовок можно руководствоваться некоторыми общими соображениями. Так, например, фасонные детали, не подвергающиеся ударным нагрузкам и действию растяжения и изгиба, целесообразно изготовлять из чугунных отливок; фасонные детали, испытывающие большие напряжения, — из стальных отливок.

Заготовки в виде поковок, получаемых ковкой, и штамповок, изготовляемых в штампах, применяют для деталей, работающих преимущественно на изгиб, растяжение и кручение при значительной разнице в поперечных сечениях.

Заготовки из проката применяют для деталей, по конфигурации приближающихся к какому-либо виду проката (круглого, квадратного, шестигранного), когда нет значительной разницы в сечениях и для получения готовой формы нет необходимости снимать большой слой металла.

Основным показателем, характеризующим экономичность выбранного метода изготовления заготовок, наряду с приведенными выше соображениями является коэффициент использования материала $K_{и.м}$

$$K_{и.м} = \frac{1}{\Sigma m_м} \Sigma m,$$

где m — масса изделия, кг; $m_м$ — масса материала, израсходованного на изготовление составной части изделия.

При расчете коэффициента покупные изделия не учитываются. Технологические требования, предъявляемые к заготовкам, обусловлены необходимостью соблюдать технические условия, определяющие припуски, классы шероховатости поверхностей, твердость и обрабатываемость. Поверхности, используемые при механической обработке в качестве технологических баз, должны быть ровными и гладкими, без литников, прибылей, выпоров, литейных или штамповочных уклонов и заусенцев. Эти опорные поверхности должны по возможности образовываться моделью и находиться в одной опоке, чтобы избежать возможного влияния перекоса опок или стержней на ка-

чество поверхностей. Для взаимосвязи обрабатываемых поверхностей на чертеже заготовки обозначают опорные поверхности механической обработки, используя их в качестве исходных поверхностей при изготовлении и проверке заготовок, а также при изготовлении моделей и штампов.

Дефекты заготовок выявляют при осмотре черных или предварительно обработанных поверхностей. Все выявленные дефекты или отклонения от установленных требований (наличие формовочной земли, пригаров, раковин, заливов, окалины, заусенцев, трещин, неровностей и др.) должны быть устранены соответствующими методами. Основной дефект сортового проката — это искривление оси прутка или заготовки в результате неравномерности их остывания после изготовления или дефект процесса изготовления (прокатки, отрезки, механической обработки) и транспортировки.

Кроме визуального выявления дефектов у заготовок применяют и другие виды контроля в зависимости от требований, приведенных в технических условиях. Они могут быть с частичным или полным разрушением образца из партии или без разрушения с применением рентгено- и магнитной дефектоскопии, ультразвука, гамма-лучей радиоактивных веществ и др. В ряде случаев производятся механические испытания и металлографические исследования.

§ 24. Предварительная обработка заготовок

П р а в к а. Чтобы устранить искривление заготовок, применяют правку в горячем или холодном состоянии молотком, на правильно-калибровочных станках и правильно-эксцентриковых прессах, а также на гидравлических и ручных винтовых прессах. В ряде случаев заготовки правят не только перед механической обработкой, но и в процессе обработки, когда при снятии наружных слоев металла возникают внутренние остаточные напряжения, вызывающие искривление оси заготовки или ее коробление. Листовой прокат любой толщины правят на правильных вальцах, в холодном состоянии или с местным подогревом на плите и тем же способами непосредственно в конструкции. Под точностью правки понимают кривизну, остающуюся после правки, отнесенную к 1 м длины заготовки. Так, например, для листового проката толщиной 10...40 мм точность правки составляет 1...2 мм; для пруткового материала и заготовок диаметром до 30 мм — 0,05...0,15 мм.

Р а з р е з к а. Прокат поступает на производство в виде прутков или бухт, листового материала или полосы. Потому перед запуском в производство прокат режут и правят.

Листовой или широкополосный материал режут на так называемые *карты*, размеры которых назначают применительно к размерам готовых деталей. Оптимальный раскрой металла, т. е. раскрой с наименьшим отходом металла, предусматривает размещение на картах конфигураций заготовок с минимальными перемычками и с учетом способа дальнейшей их обработки. На рис. 41 приведены примеры раскроя металла для вырубки заготовок на прессах: *а* — прямой,

б — наклонный, *в* — встречный, *г* — комбинированный, *д* — многорядный.

Чтобы получить более чистый срез вырубленной заготовки, а также уменьшить заусенцы и коробление заготовки, рекомендуется вести вырубку с перемычками (*А* на рис. 41). Лишь в случаях, когда к заготовке не предъявляют повышенных требований в отношении точности и качества среза, применяют вырубку без перемычек. Ширину перемычек обычно берут равной одной-двум толщинам исходного металла. Учитывая, что ширина перемычки влияет на величину отхода металла, ее следует брать по возможности меньшей (размеры перемычек нормализованы). Отход металла в процентах определяют как отношение

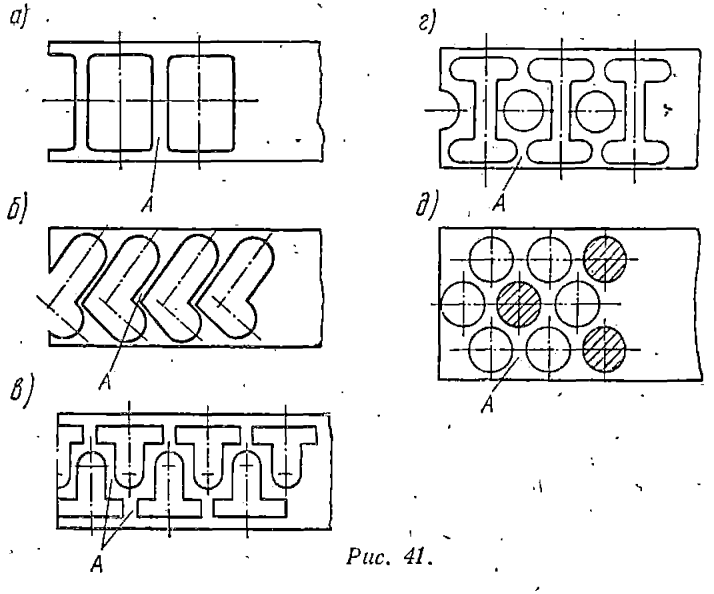


Рис. 41.

площади поверхности высечки (отходы после вырубки) к площади поверхности карты.

Разрезку производят на оборудовании различных видов. Пресс-ножницы применяют для разрезки листовой и полосовой стали толщиной до 25 мм, гильотинные и дисковые ножницы — для разрезки материала толщиной до 40 мм, тонкий прокат можно разрезать дисковыми и вибрационными ножницами.

Прокат режут также на прессах, приводных ножовках, на отрезных станках, оснащенных дисковыми и ленточными пилами, отрезными резцами на токарных станках, а также дисковыми фрезами на фрезерных станках.

Для материала толщиной от 5 до 100 мм применяют газовую резку (ацетилено-кислородную и кислородную), при толщинах свыше 100 мм (до 450 мм) — кислородно-флюсовую и плазменную резку. Заготовки из материалов высокой твердости режут абразивными кругами, анодно-механическим или электроискровым методом. Существует

также прогрессивный метод разрезки высокопрочных материалов фрикционными дисками, работающими со скоростью вращения до 100 м/с. В результате трения обрабатываемый металл нагревается в рабочей зоне до температуры свыше 1000° С и частично оплавляется, благодаря чему легко удаляется.

Ширина разреза зависит от способа разрезки и толщины металла. Так, при разрезке на токарном станке отрезным резцом металла толщиной 20...30 мм ширина разреза составляет 3 мм, при разрезке металла той же толщиной дисковой фрезой на фрезерном станке — 2 мм; дисковой пилой — 4 мм; ленточной пилой — 1,5 мм; приводной ножовкой — 2,5 мм, абразивным кругом — 2 мм; анодно-механическим методом — 1,5 мм.

Центрование заготовок. При обработке наружных поверхностей тел вращения (валов) базой для выполнения ряда операций являются центровые отверстия. Отверстия предназначаются как для обтачивания, нарезания резьб, шлифования, так и для правки и контроля. Правильная форма и расположение центровых отверстий влияют на точность обработки. Поэтому от правильного центрования, соответствия углов конуса центровых гнезд углам конуса центров станков, на которых будут обрабатывать заготовки, зависит точность изготовления деталей. Форма и размер центровых отверстий по ГОСТ 14034—68 подразделяются на три типа. Так, тип А наиболее распространен при обработке деталей в центрах, он имеет угол при вершине конуса 60° (иногда этот угол при обработке деталей с большой массой увеличивают до 75, 90° и выше); тип Б имеет дополнительную коническую поверхность (фаску) с углом при вершине 120°, которая предназначается для предохранения центровых отверстий от повреждений, а также для осуществления возможности подрезки торца; тип В кроме предохранительной фаски снабжен резьбой, предназначаемой для резьбовых пробок, ввинчиваемых в центровые отверстия при транспортировке заготовок.

Центрование заготовок производят на токарных, револьверных и сверлильных станках, а также на специальных одно- и двусторонних фрезерно-центровальных станках сверлом и зенковкой, образующей коническую поверхность, или комбинированным инструментом, объединяющим эти виды обработки (сверление и зенкование).

Предварительная обработка литых и кованых заготовок предусматривает удаление окалины, заусенцев, пригара, литников, прибылей и напусков.

Очистка производится на обдирочно-шлифовальных станках; крупные заготовки обрубаются пневматическими зубилами и зачищаются переносными шлифовальными машинками. Очистку поверхностей производят также проволочными вращающимися щетками или в дробеструйных камерах.

Мелкие заготовки очищают большей частью в очистных вращающихся барабанах. Применяется также способ очистки заготовок в струе рабочей жидкости, направляемой под давлением на поверхность обрабатываемой заготовки. Рабочая жидкость состоит из кальцинированной соды, абразива и воды.

Некоторые виды заготовок — поковки и штамповки из высокоуглеродистых сталей (С > 0,5%), чугунные или стальные отливки — подвергают также термической обработке (отжигу или нормализации) для улучшения структуры и обрабатываемости.

Глава VI
ПРИПУСКИ НА ОБРАБОТКУ

§ 25. Определения и основные понятия

Припуском на обработку называется слой металла, подлежащий удалению с поверхности заготовки в процессе обработки для получения готовой детали. Размер припуска определяют разностью между размером заготовки и размером детали по рабочему чертежу; припуск задается на сторону.

Припуски подразделяют на *общие*, т. е. удаляемые в течение всего процесса обработки данной поверхности, и *межоперационные*, удаляемые при выполнении отдельных операций. Величина межоперационного припуска определяется разностью размеров, полученных на предыдущей и последующей операциях.

Обозначая общий припуск на обработку $z_о$, размер заготовки $a_з$ и размер готовой детали $a_д$, получаем:

для наружных поверхностей $z_о = a_з - a_д$;

для внутренних поверхностей $z_о = a_д - a_з$.

Обозначив припуск на данной операции $z_м$, размер, полученный на предшествующей операции, a и размер, который должен быть получен на данной операции, b, определим межоперационный припуск:

для наружных поверхностей $z_м = a - b$;

для внутренних поверхностей $z_м = b - a$.

Тогда общий припуск на обработку равен сумме межоперационных припусков по всем технологическим операциям — от заготовки до размеров детали по рабочему чертежу:

$$z_о = \sum z_м.$$

Для наружных поверхностей значение разности размеров, получаемых на предшествующей и последующей операциях, является положительной величиной, а для внутренних — отрицательной.

§ 26. Факторы, влияющие на величину припуска

Размер припуска зависит от толщины поврежденного поверхностного слоя, т. е. от толщины корки для литых заготовок, обезуглероженного слоя для проката, глубины поверхностных неровностей, раковин, трещин и пр., а также от неизбежных производственных и технологических погрешностей, зависящих от способа изготовления заготовки, ее обработки, геометрических погрешностей станка и других технологических факторов.

Результативные погрешности являются совокупностью погрешностей заготовки и погрешностей, возникающих при выполнении отдельных технологических операций. Для компенсации погрешностей, возникающих при выполнении технологических операций, необходимо предусматривать припуск, величина которого сможет обеспечить соответствующее качество данной заготовки на последней операции обработки.

Производственные погрешности характеризуются отклонениями размеров, геометрическими нарушениями формы и отклонениями взаимосвязанных поверхностей, поверхностными микронеровностями, глубиной дефектного поверхностного слоя.

Геометрические погрешности формы (овальность, огранка, конусообразность, выпуклость, вогнутость и др.) должны находиться в пределах поля допуска на размер, который должен перекрывать предельные погрешности геометрической формы.

Микронеровности учитывают при расчете припусков характеристикой значений Rz_{i-1}, так как каждой технологической операции свойственна определенная шероховатость поверхности. Глубина дефектного поверхностного слоя зависит от способа изготовления заготовок. В отливках из серого чугуна дефектный поверхностный слой представляет собой перлитную корку, которую удаляют для сохранения режущих свойств инструмента при последующей обработке подкоркового слоя.

Поверхностный слой проката характеризуется обезуглероженной зоной, снижающей предел прочности металла. Удаление этого слоя повышает прочностные свойства обрабатываемой заготовки. Наряду с этим при обработке заготовок из проката в поверхностном слое возникает наклеп, постепенно уменьшающийся по мере удаления от поверхности.

При обработке целесообразно удалять зону резко выраженной деформации, т. е. верхнюю часть наклепанного слоя, в которой обычно наблюдается изменение структуры металла.

Отклонения взаимосвязанных поверхностей (непараллельность и неперпендикулярность осей и поверхностей, эксцентриситет отверстий, увод оси отверстия и др.) также следует учитывать при расчете припусков, но, так как эти отклонения не связаны с погрешностями на размеры поверхностей, их нужно учитывать отдельно.

Наряду с перечисленными отклонениями в процессе обработки возникают погрешности установки, которые также должны быть компенсированы соответствующим увеличением припуска.

Таким образом, наименьший межоперационный припуск на обработку z_i при наименьшем предельном размере заготовки для наружных поверхностей и при наибольшем предельном размере для внутренних поверхностей может быть определен из формулы

$$z_i = Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_{y_i},$$

где Rz_{i-1} — средняя величина микронеровностей; T_{i-1} — глубина дефектного поверхностного слоя; ρ_{i-1} — геометрическая сумма пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей; ε_{y_i} —

погрешность установки; $i-1$ — индекс, характеризующий предшествующую операцию; i — индекс, характеризующий данную операцию.

Отсюда следует, что в величину межоперационного припуска входят погрешности предшествующей операции и погрешности установки данной операции.

При обработке плоских поверхностей учитывают наибольшее из пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей по нормали к обрабатываемой поверхности; тогда суммарное значение ρ_{i-1} будет определяться как векторная сумма пространственных отклонений. Для одинакового направления векторов ρ_1 и ρ_2 (угол между ними равен 0°)

$$\rho_{i-1}=\rho_1+\rho_2.$$

Для противоположного направления векторов (при угле 180°)

$$\rho_{i-1}=\rho_1-\rho_2.$$

Наименьшая величина межоперационного припуска на диаметральный размер (при обработке поверхностей тел вращения) удваивается. Тогда

$$2z_i=2\left[(Rz_{i-1}+T_{i-1})+(\rho_{i-1}+\varepsilon_{y_i})\right].$$

При обработке поверхностей вращения учитывают суммарное значение отклонений взаимосвязанных поверхностей, векторы которых могут иметь любое направление, поэтому в тех случаях, когда нельзя установить их вероятное направление, следует пользоваться формулой

$$\rho_{i-1}=\sqrt{\rho_1^2+\rho_2^2}.$$

Погрешность установки ε_{y_i} определяют как векторную сумму погрешностей базирования и погрешностей закрепления (см. гл. IV). Погрешность базирования определяется из геометрических связей в зависимости от принятой схемы установки, а погрешность закрепления — также и в зависимости от силы зажатия. Например, погрешность установки ε_{y_i} в радиальном направлении при обработке в самоцентрирующем патроне деталей диаметром 80...100 мм составляет для литья в песчаные формы, горячего проката и штамповки — 0,5 мм, для литья по выплавляемым моделям и предварительно обработанной поверхности — 0,12 мм, для литья под давлением и чисто обработанной поверхности — 0,06 мм и т. д.

В некоторых случаях в формуле определения наименьшей величины припуска могут отсутствовать некоторые составляющие, например величина T_{i-1} (глубина дефектного поверхностного слоя), которая учитывается только для заготовки. При обработке заготовок из чугуна и цветных сплавов значение T_{i-1} после черновой операции исключается из формулы, так же как и после термообработки; после черновой и чистовой обработки отдельных заготовок значение T_{i-1} принимается равным глубине наклепанного слоя, составляющего после притирки 3...5 мкм, тонкого обтачивания и растачивания — 15...20 мкм, шлифования — 15...20 мкм, протягивания — 10...20 мкм,

чистового развертывания — 10...20 мкм, продавливания шариком и раскатки — 20...25 мкм; при обработке отверстий плавающим режущим инструментом исключается значение ρ_{i-1} (векторная сумма отклонений взаимосвязанных поверхностей); при установке обрабатываемой заготовки на плиту, т. е. при совмещении установочной и измерительной баз, из формулы выпадает величина ε_{y_i} (погрешность установки) и т. п.

Влияние величины припуска на экономичность процесса обработки очень велико, так как чем больше припуск, тем большее число рабочих ходов требуется для снятия соответствующего слоя металла, что приводит к повышению трудоемкости процесса, расхода электроэнергии, режущего инструмента и увеличивает отходы металла, превращаемого в стружку. Завышенные припуски приводят к увеличению парка оборудования и производственных площадей, необходимых для его размещения. Величина припуска обеспечивается точностью изготовления заготовок, однако повышение требований к точности в ряде случаев повышает и себестоимость их изготовления в заготовительных цехах, поэтому припуск следует выбирать оптимальным, т. е. обеспечивающим качество обработанной поверхности при наименьшей себестоимости обработки в механических и заготовительных цехах.

§ 27. Межоперационные припуски и допуски

Чтобы обеспечить постоянство величины межоперационных припусков на каждой из операций, размер обрабатываемой поверхности должен находиться в определенных пределах, характеризующих межоперационный допуск. *Общий припуск на обработку складывается из суммы наименьших межоперационных припусков и межоперационных допусков без допуска на последнюю операцию.*

Величина допуска на последнюю операцию должна соответствовать величине допуска на окончательную обработку данной поверхности.

Допуск δ_{i-1} на предшествующей данной операции размер детали определяют как разность наибольшего и наименьшего предельных значений припуска:

$$\delta_{i-1} = z_{i\,\text{наиб}} - z_{i\,\text{наим}}.$$

На рис. 42 показаны схемы расположения межоперационных припусков и допусков при обработке заготовок типа вала [рис. 42, *а*, где B_1 — размер заготовки (вала); B_2 и B_3 — наибольший и наименьший предельные размеры заготовки после первой операции; B_4 и B_5 — то же, после второй операции; B_6 и B_7 — после третьей операции; z_1 и δ_1 — межоперационные припуск и допуск на первую операцию; z_2 и δ_2 — то же, на вторую операцию; z_3 и δ_3 — на третью операцию] и отверстия (рис. 42, *б*, где A_1 — размер отверстия в заготовке; A_2 и A_3 — наименьший и наибольший предельные размеры отверстия после первой операции; A_4 и A_5 — то же, после второй операции; A_6 и A_7 — после третьей операции).

Между предварительной и чистовой обработкой суммарный припуск распределяется следующим образом: ~ 60% суммарного припуска на предварительную обработку и 40% на чистовую, или 45% на предварительную, 30% на получистовую и 25% на чистовую обработку.

Расчет межоперационных припусков и предельных размеров обрабатываемых поверхностей по операциям ведут в определенной последовательности: вначале определяют базовые опорные поверхности для обработки и порядок выполнения технологических операций, а затем значения R_{i-1}, T_{i-1}, ρ_{i-1}, ε_{y_i} и δ_{i-1}, после чего — расчетные величины припусков по всем операциям.

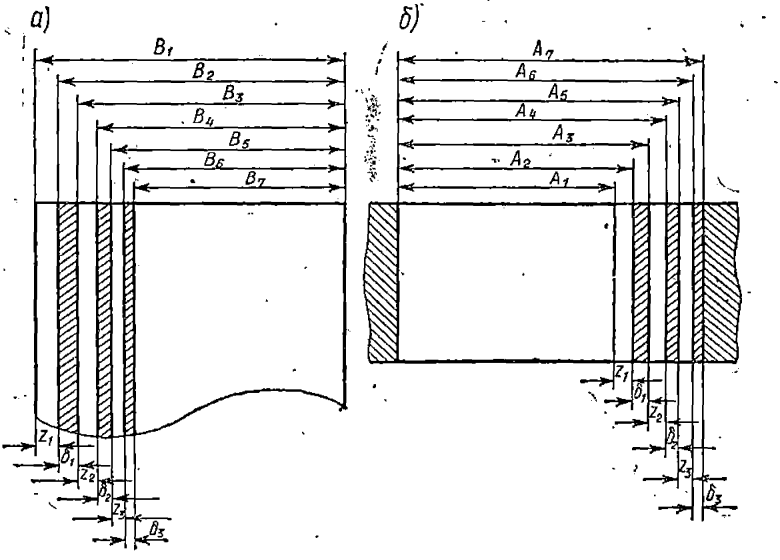


Рис. 42.

Для наружных поверхностей вначале находят расчетные размеры обрабатываемой заготовки для последней операции, устанавливая таким образом наименьший предельный размер детали по чертежу. Для внутренних поверхностей определяют наибольший предельный размер детали по чертежу. Затем для определения наименьшего расчетного размера заготовки на предшествующей операции к наименьшему предельному размеру (для наружных поверхностей) прибавляют величину межоперационного припуска, а из наибольшего предельного размера (для внутренних поверхностей) вычитают величину межоперационного припуска. В таком же порядке определяют расчетные размеры по всем технологическим операциям.

Наибольший предельный размер заготовки для наружных поверхностей находят суммированием допуска с наименьшим предельным размером или наименьший предельный размер (для внутренних поверхностей) — вычитанием допуска из наибольшего предельного

размера. Тогда наибольшее предельное значение межоперационного припуска для наружных поверхностей $z_{м_{наиб}}$ будет определяться как разность наибольших предельных размеров, а наименьшее $z_{м_{наим}}$ — как разность наименьших предельных размеров предшествующей и данной операций.

Для внутренних поверхностей предельные значения межоперационных припусков определяют: $z_{м_{наим}}$ — как разность наименьших предельных размеров и $z_{м_{наиб}}$ — как разность наибольших предельных размеров на данной и предшествующей операциях.

Затем, суммируя межоперационные припуски, находят общий припуск на обработку заготовки ($z_{о_{наиб}}$ и $z_{о_{наим}}$) и делают проверку путем сопоставления разности припусков и допусков: $z_{м_{наиб}} - z_{м_{наим}} = \delta_з - \delta_д$; при этом разность предельных значений межоперационных припусков должна быть равна разности межоперационных допусков, а разность общих припусков — разности допусков на размер заготовки и детали по чертежу.

Условия расчета припусков зависят от вида заготовки. Так, при обработке заготовок из калиброванной и горячекатаной стали (прутка) после определения расчетного наименьшего предельного размера заготовки $D_з = D_д - 2z_о$ подбирают по сортаменту ближайший диаметр прутка $D_с$; тогда действительный общий припуск на обработку составит

$$2z_{о_1} = D_с - D_д,$$

где $2z_о$ — расчетный общий припуск на обработку (по диаметру); $D_д$ — наименьший предельный размер детали по чертежу.

При обработке ступенчатых валов из проката размер заготовки определяют таким же путем, но наибольший предельный размер детали по чертежу принимают по ступени наибольшего диаметра, тогда остальные ступени обрабатывают с так называемым *напуском*. Если напуск не может быть снят за один рабочий ход, то в первом рабочем ходе удаляют 60% напуска, а во втором — 40%. В дальнейшем ступени обрабатывают без напуска и припуски определяют в обычном порядке.

При расчете припусков для штампованных заготовок необходимо учитывать напуски, упрощающие конфигурации заготовки (углубление, переходы, уступы и т. д.), а также штамповочные уклоны и радиусы закруглений. Припуски на обработку штампованных заготовок с учетом радиусов закруглений определяют по формуле

$$r_д + z_{о\,наим} - H_д + H_з \geqslant r_з,$$

где $r_д$ — радиус закругления готовой детали; $r_з$ — то же, заготовки; $z_{о_{наим}}$ — наименьший припуск на обработку; $H_д$ — нижнее отклонение по размеру готовой детали; $H_з$ — то же, заготовки.

При расчете припусков для литых заготовок учитывают необходимые напуски, упрощающие конфигурацию заготовки, а также формовочные уклоны, радиусы литых галтелей и построения переходов при изменении сечений отливки. Кроме того, предусматривают

дополнительные припуски на поверхности, расположенные в верхней части по отношению к заливке. Наряду с этим при расчете припусков учитывают коробление литых заготовок, а также смещение стержней, образующих отверстия и внутренние поверхности. Припуск, компенсирующий коробление литой заготовки, устанавливают в зависимости от жесткости конструкции отливки. Его обычно удаляют при обдирочных операциях, однако это вызывает погрешности, возникающие в результате остаточных напряжений в материале заготовок, поэтому при расчете припуска на отделочные операции учитывают значение этой погрешности в пределах 0,3 мм на 1 м длины литой заготовки.

При определении припуска на обработку отверстий в литых заготовках следует также учитывать смещение оси отверстия относительно взаимосвязанных поверхностей. При установке заготовки на станке по необработанному отверстию величину смещения оси учитывают в припуске на обрабатываемую поверхность, а при обработке этого же отверстия от опорной поверхности — в припуске на обработку отверстия.

Справочные данные для расчета припусков обычно разрабатывают по отраслям машиностроения в виде нормативных таблиц с учетом способов обработки, вида заготовки, требуемой точности и других производственных и технологических факторов. Эти справочные данные периодически пересматривают по мере развития техники и повышения уровня технологии производства.

Рассмотрим пример расчета припусков при обработке ступенчатого вала с небольшим перепадом ступеней; размер ступени наибольшего диаметра $25{,}35_{-0.014}$ мм, общая длина 100 мм; вал изготовлен из проката стали калиброванной круглой по 3а классу точности.

Так как для заготовки из калиброванного проката может быть принят по сортаменту ближайший к этому размеру диаметр прутка, то при этом действительный общий припуск z_0 на обработку составляет

$$2z_0 = D_з - D_д.$$

Ступенчатые валы с небольшим перепадом ступеней могут непосредственно обрабатываться шлифованием на бесцентрово-шлифовальных станках по ступени наибольшего диаметра, а остальные ступени — с напуском, удаляемым при последующих переходах.

После выбора установочных баз и технологического маршрута обработки определяют обрабатываемые элементарные поверхности и последовательный порядок переходов по каждой из этих поверхностей.

Затем из справочных таблиц выписывают значения R_{i-1}, T_{i-1}, ρ_{i-1} и ε_{y_i}.

Для нашего случая (при бесцентровом шлифовании) погрешность установки ε_{y_i} отсутствует, остальные значения составляют: $R_{i-1} = 50$ мкм, $T_{i-1} = 50$ мкм и $\rho_{i-1} = 75$ мкм, тогда припуск на бесцентровое шлифование после отрезки составляет

$$2z' = 2\,(50 + 50 + 75) = 350 \text{ мкм}.$$

Так как заготовка подвергается в дальнейшем термообработке и поверхностный слой должен быть по возможности сохранен, определим по справочным таблицам для этих условий значения R_{i-1} и ρ_{i-1}, которые составляют соответственно 5 и 50 мкм, тогда

$$2z'' = 2\,(5 + 50) = 110 \text{ мкм}.$$

Общий припуск на обработку составит

$$2z_0 = 2z' + 2z'' = 350 + 110 = 460 \text{ мкм}.$$

Определим наименьший размер заготовки:

$$D_з = (25{,}350 - 0{,}014) + 0{,}46 = 25{,}336 + 0{,}46 = 25{,}796 \text{ мм}.$$

Принимаем диаметр прутка по сортаменту 26 мм; в этом случае наименьший размер диаметра прутка составляет 25, 955 мм (допускаемое отклонение по диаметру — 0,045 мм), тогда общий припуск составит:

$$2z_{0\text{наиб}} = 26 - 25{,}35 = 0{,}650 \text{ мм};$$

$$2z_{0\text{наим}} = 25{,}955 - 25{,}336 = 0{,}619 \text{ мм}.$$

Проверяем произведенные расчеты как разность предельных значений припуска:

$$2z_{0\text{наиб}} - 2z_{0\text{наим}} = 0{,}650 - 0{,}619 = 0{,}031 \text{ мм}$$

и $0{,}045 - 0{,}014 = 0{,}031$ мм.

Глава VII
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА

§ 28. Основы организации и управления процессом технологической подготовки производства

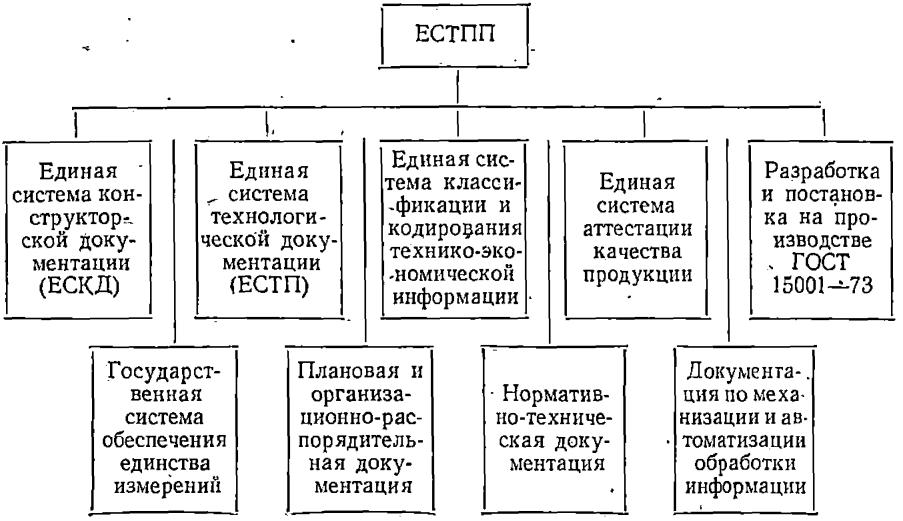
Государственными стандартами установлена единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), предусматривающая широкое применение прогрессивных типовых технологических процессов, стандартной технологической оснастки (приспособления, режущий, измерительный и вспомогательный инструменты) и оборудования, средств механизации и автоматизации процессов производства и комплекса инженерно-технических и управленческих работ. Эта система обусловливает единый для всех предприятий и организаций системный подход к выбору и применению методов и средств технологической подготовки производства (ТПП) с учетом современных достижений науки и техники, обеспечивающий как освоение, так и выпуск изделий высокого качества при минимальных трудовых и материальных затратах. Осуществление этой системы допускает возможность непрерывного совершенствования производства и быстрой его переналадки на выпуск новых изделий; при этом предусматривается рациональная организация механизированного и автоматизированного выполнения инженерно-технических и управленческих работ, взаимосвязь ТПП и управление ею с другими системами и подсистемами управления.

В основу ЕСТПП наряду с государственными стандартами положено применение отраслевых стандартов и стандартов предприятий, отражающих специфику отрасли или предприятия, конкретизирующих и развивающих отдельные правила и положения ЕСТПП, а также использование нормативно-технической и методической документации. В общем виде структурная схема состава документации, определяющей объем разработки конкретных методов и средств ТПП, представлена схемой 1.

Технологическая подготовка производства (ТПП) должна начинаться с получения исходных документов на разработку и производство новых изделий, организацию нового и совершенствования

действующего производства на основе применения современных методов организации и управления.

Схема 1



Основными функциями, обеспечивающими решение задач ТПП, являются: отработка на технологичность конструкции изделия, разработка типовых технологических процессов, проектирование и изготовление средств технологического оснащения и организация и управление процессом ТПП. Этими функциями охватывается весь необходимый комплекс работ по ТПП, в том числе конструктивно-технологический анализ изделий, организационно-технологический анализ производства, расчет производственных мощностей, составление технологических планировок, определение материальных и трудовых нормативов, а также отладка технологических процессов и средств технологического оснащения.

Организация и управление процессом ТПП должны основываться на использовании типовой информационной модели ТПП, типовой структурной схемы и типовых организационных положений, установленных отраслевыми стандартами в соответствии с правилами и положениями ЕСТПП. Организационная структура ТПП наряду с рациональными распределением функций между службами ТПП и совершенствованием документооборота должна обеспечить и гибкость структуры, т. е. возможность быстрой перестройки ее для решения новых задач ТПП.

Управление ТПП включает решение вопросов планирования, учета, контроля и регулирования хода подготовки производства. Основными задачами планирования являются определение состава, объема, последовательности, сроков выполнения и распределения работ между технологическими и производственными службами. Исходной документацией для учета выполнения работ должен слу-

жить график ТПП, содержащий необходимые данные, являющиеся источником оперативной информации (номенклатура, продолжительность и последовательность выполненных работ, движение трудовых и материальных ресурсов). Контроль за ходом выполнения работ по ТПП проводят для выявления отклонения фактических показателей от плановых и формирования информации о характере и причинах отклонений.

Единой системой технологической подготовки производства установлены три стадии разработки документации по организации на вновь вводимых и совершенствованию на действующих предприятиях ТПП: техническое задание, технический и рабочие проекты. На стадии технического задания определяются и устанавливаются технические требования к документации, исполнители, которые будут участвовать в разработке технического и рабочего проектов, источники финансирования и проводятся расчеты технико-экономической эффективности ТПП. Утвержденное техническое задание является основанием для разработки технического проекта. На стадии разработки технического проекта принимаются основные принципиальные технические и организационные решения по установленным функциям и задачам ТПП. Утвержденный технический проект служит основанием для разработки рабочего проекта. На стадии рабочего проекта используются ранее подготовленные технические и другие документы для разработки рабочей документации, обеспечивающей решение задач ТПП по установленным функциям.

Уровень механизации и автоматизации решения инженерно-технических задач и задач управления ТПП обусловливается экономической целесообразностью и определяется с учетом трудоемкости и сложности задач. К техническим средствам механизации и автоматизации относятся: средства сбора, передачи и представления информации, устройства ввода — вывода данных, средства обработки информации, средства оформления и размножения информации и средства связи. Объектами механизации и автоматизации в ТПП являются: проектирование технологических процессов и средств технологического оснащения, решение различных инженерно-технических и управленческих задач, информационный поиск деталей-прототипов и средств технологического оснащения для заимствования, а также разработка программ для оборудования с программным управлением.

§ 29. Единая система технологической документации

Технологическая документация — комплекс текстовых и графических документов, определяющих в отдельности или в совокупности технологический процесс изготовления или ремонта изделия (включая контроль и перемещения) и содержащих необходимые данные для организации производства. Государственными стандартами установлена Единая система технологической документации (ЕСТД), являющаяся составной частью Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП). ЕСТД определены взаимосвязанные правила и положения о порядке разработки, оформления, комплектации

и обращения технологической документации, разрабатываемой и применяемой в производстве всеми машиностроительными и приборостроительными организациями и предприятиями.

Основное назначение стандартов ЕСТД заключается в установлении во всех организациях и на всех предприятиях единых правил, обеспечивающих: стандартизацию обозначений и унификацию последовательности размещения однородной информации в формах документации на различные виды работ при использовании средств вычислительной техники для управления производством; возможность взаимообмена технологическими документами между организациями и предприятиями без их переоформления; стабильность комплектности, исключающую повторную разработку и выпуск дополнительных документов.

Технологические документы подразделяются на документы общего назначения — общие для всех видов различных работ и документы специального назначения — документы на технологические процессы, специализированные по отдельным видам работ. Технологические документы общего назначения подразделяются на следующие виды: маршрутная карта, карта эскизов, технологическая инструкция, комплектовочная карта, ведомость расцеховки, ведомость оснастки и ведомость материалов.

Маршрутная карта (МК) (рис. 43) содержит описание технологического процесса изготовления или ремонта изделия по всем операциям различных видов в технологической последовательности, с указанием данных по оборудованию, оснастке, материальным, трудовым и другим нормативам. Маршрутная карта является основным технологическим документом, разрабатываемым на всех стадиях составления рабочей документации. Маршрутная карта имеет 4 варианта исполнения в зависимости от вида производства и метода изложения технологического процесса. Так, формы № 1, 2 и 3 предназначены для индивидуальных маршрутных и операционных процессов; форма № 4 — для типовых технологических процессов.

Карта эскизов (КЭ) содержит графическую иллюстрацию технологического процесса изготовления изделия и его отдельных элементов. Карту составляют по усмотрению разработчика в зависимости от характера или условий производства изделия.

Технологическая инструкция (ТИ) содержит описание специфических приемов работы или метода контроля технологического процесса, правил пользования оборудованием или приборами, мер безопасности и других случаев, требующих дополнительных разъяснений.

Комплектовочная карта (КК) содержит данные о деталях, сборочных единицах и материалах, входящих в комплект собираемого изделия.

Ведомость расцеховки (ВР) содержит данные о маршруте прохождения изготовляемого или ремонтируемого изделия по службам предприятия.

Ведомость оснастки (ВО) содержит перечень специальных и стандартных приспособлений и инструментов, необходимых для

ГОСТ 3.1105–74 Форма 2

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Маршрутная карта

Литера

Материал			Заготовка							
Наименование, марка	Код	Код единицы времени	Масса детали	Код и вид	Профиль и размеры	Кол. дет.	Масса	Единица нормирования	Норма расхода	Коэффициент использования материала

Номер			Наименование и содержание операции	Оборудование (код, наименование, инвентарный номер)	Приспособление и инструмент (код, наименование)	Коэффициент штучного времени	Количество работающих	Количество одновременно обрабатываемых деталей	Количество позиций по чертежу	Объем производственной партии	Тп.з
цеха	участка	операции				Код профессии	Разряд работы	Ед. нормирования	Код вида подготовки		Тш

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разраб.	Проверил	Нормир.	Утверд.	Н. контр.	Лист	Листов

Рис. 43.

ГОСТ 3.1404-74 Форма 2

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Операционная карта механической обработки

Код, наименование операции	Обозначение документа	Код предприятия	Номер операции	Номер перехода

Наименование операции

Наименование и марка материала	Масса детали	Заготовки: Профиль и размеры	Твердость	Масса

Код, обозначение обрабатываемой детали	Оборудование (наименование, модель)

Приспособление (код и наименование)		Охлаждение

Номер перехода	Содержание перехода	Инструмент (код и наименование): вспомогательный	режущий	измерительный	Расч. размер: диаметр, ширина	длина	t	i	Режим обработки: s	n	v	T_0	$T_в$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разраб.	Проверил	Нормир.	Утверд.	Н. контр.	Лист	Листов

Рис. 44.

оснащения технологического процесса изготовления изделия. Ведомость составляется на основании маршрутных карт в технологической последовательности на сборочные единицы и детали.

Ведомость материалов (ВМ) является подетальной сводной ведомостью норм расхода материалов, запись в которой производится по разделам для сборочных единиц и деталей, входящих в состав изделия. На изделия, предназначенные для самостоятельной поставки, составление ведомости обязательно.

К специализированным документам относятся операционные карты и карты технологических процессов определенных видов работ.

Операционная карта (ОК) (рис. 44) содержит описание операций технологического процесса изготовления изделия с расчленением операций по переходам с указанием режимов обработки, расчетных норм и трудовых нормативов. Всего предусмотрено 8 видов технологических карт. Три формы служат для описания операционного технологического процесса механической обработки (единичного, бестекстового и типового). Четыре формы предназначены для внесения информации при обработке на одно- и многошпиндельных автоматах и полуавтоматах, а одна форма является операционной картой групповой наладки на автоматах.

Карта технологического процесса (КТП) содержит описание процесса изготовления или ремонта изделия (включая контроль и перемещение) по всем операциям одного вида работ (изготовление отливок, раскрой и нарезание заготовок, ковка и штамповка и др.), выполняемых в одном цехе в технологической последовательности с указанием данных о средствах технологического оснащения, материальных и трудовых нормативах.

В комплект технологических документов в качестве основных входят маршрутная карта и карта технологического процесса.

Выбор соответствующего комплекта для документов зависит от масштаба производства и метода изложения технологического процесса на данном предприятии.

При заполнении форм предусматривается использование единой терминологии и стандартизации знаков базирования и элементов закрепления обрабатываемых деталей в соответствии с ГОСТ 3.1107.73 «Обозначения условные графические, применяемые в технологических процессах. Опоры и зажимы».

§ 30. Исходные данные для проектирования технологического процесса механической обработки

Технологический процесс механической обработки проектируют на основе рабочего чертежа детали и сборочного чертежа изделия или сборочной единицы, технических условий на изготовление изделия и чертежа заготовки.

Выбор оптимального варианта технологического процесса, т. е. процесса, наиболее выгодного для данных конкретных условий, обеспечивающего наибольшую производительность при наименьшей себестоимости обработки, требует в ряде случаев расчета экономической

эффективности и сравнения экономичности вариантов обработки (см. гл. XXXI). Выбор оптимального варианта технологического процесса в значительной степени зависит от объема выпуска, производственных возможностей предприятия (наличного парка оборудования, оснащенности и др.), условий проектирования (реконструкция предприятия с использованием действующего оборудования, приобретение оборудования и т. п.).

Производственная программа завода определяется заданным количеством выпуска готовых изделий в год при определенном количестве смен в сутки и установленной продолжительности смены. На основе производственной программы составляют подетальную программу выпуска. Для каждой детали программа выпуска является произведением количества изделий в год на количество деталей данного наименования в изделии с учетом процента запасных частей (технологические потери при наладке в крупносерийном и массовом производстве учитывают в особых случаях). Эту программу можно выразить формулой

$$П = П_1 m [1 + (n/100)],$$

где $П$ — производственная программа по данной детали в год; $П_1$ — производственная программа изделий в год; m — число данных деталей на одно изделие; n — процент запасных частей для данной детали.

Программа выпуска и трудоемкость изделий характеризуют тип производства и соответственно специфические требования к ТПП единичного, серийного и массового производства.

Информационной основой при разработке технологических процессов являются: технологический классификатор объекта производства, классификатор технологических процессов, система обозначения технологических документов, стандарты единой системы технологической документации, типовые технологические процессы и операции, стандарты и каталоги на средства технологического оснащения, нормативы технологических режимов, материальные и трудовые нормативы.

Необходимость разработки типовых технологических процессов определяется экономической целесообразностью, зависящей от количества однотипных изделий, выявленных при группировании их по конструктивным и технологическим признакам.

Общим правилом разработки технологических, в том числе типовых, процессов является проектирование процессов для изготовления деталей, конструкции которых отработаны на технологичность.

Выбор средств технологического оснащения (технологического оборудования, оснастки и средств механизации и автоматизации) производится с учетом типа производства, характера намеченной технологии и максимального применения имеющихся стандартной оснастки и оборудования.

Основные данные об оборудовании, необходимом для технологического процесса, берутся из паспортов стан-

ков, имеющихся на действующем предприятии, а также из каталогов, справочных данных и других источников.

Данные об инструменте и приспособлениях определяют по действующим стандартам и нормалям, каталогам и другим справочным материалам.

Помимо указанных в ряде случаев необходимо иметь также данные, характеризующие вновь проектируемое станкостроительными заводами специализированное и специальное оборудование *, а также проектируемые инструментальной промышленностью новые виды инструмента. Такие данные могут быть получены в виде инструкционных описаний или характеристик и схем с изложением технологии изготовления типовых деталей на этом оборудовании или с применением специального инструмента. Эти сведения позволяют при проектировании технологического процесса выявлять практическую возможность применения указанного оборудования и инструмента в данных конкретных условиях и являются определенным стимулом для внедрения новых, прогрессивных технологических процессов.

§ 31. Техническое нормирование

Разработка технологического процесса обычно завершается установлением технических норм времени для каждой операции. Техническую норму времени определяют на основе расчета режимов резания с учетом полного использования режущих свойств инструмента и производственных возможностей оборудования.

Техническая норма времени характеризует время, необходимое для выполнения определенной работы в условиях данного производства с учетом передового опыта и современных достижений техники, технологии и организации производства. Вместе с тем техническая норма является переменной во времени величиной, так как по мере совершенствования технологического процесса ее следует проверять и пересматривать, отображая тем самым улучшение организации труда, внедрение новой техники и накопление опыта работниками завода в соответствии с их культурным и техническим ростом. Технические нормы времени являются исходными расчетными величинами для определения производственной мощности рабочего места, участка, цеха, а также для составления предварительной калькуляции себестоимости обработки.

Расчет технически обоснованной нормы времени в минутах производится по штучному времени $T_{шт}$, которое слагается из оперативного времени $T_{оп}$ на одну операцию (или на единицу работы), времени на обслуживание рабочего места $T_{об}$ и времени на отдых и естественные надобности $T_{пер}$:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{пер}.$$

* Под *специализированным* оборудованием понимают станки, спроектированные для изготовления сходных или однотипных, различающихся только размерами деталей; *специальные станки* проектируют только для изготовления данной детали определенного типоразмера и применяют в массово-поточном производстве.

Норма оперативного времени в минутах включает норму технологического (основного) времени $T_т$ и норму вспомогательного времени $T_в$, не перекрытого машинным временем,

$$T_{оп} = T_т + T_в.$$

Штучное калькуляционное время $T_{шт.к}$ в минутах равно сумме штучного и доли подготовительно-заключительного времени, приходящегося на одну деталь,

$$T_{шт.к} = T_{шт} + T_{п.з}/x,$$

где x — количество деталей в одной партии.

Норма выработки H — величина, обратная норме времени. Она представляет собой количество продукции, которое должно быть произведено рабочим за единицу времени (минуту, час, смену). При 7-часовом рабочем дне (420 мин) норма выработки в штуках составит

$$H = 420/T_{шт.к}.$$

Изменение нормы времени вызывает изменение нормы выработки.

Для расчета технологического времени (мин) пользуются формулой, общей для всех видов обработки, причем эта формула изменяется в зависимости от того или иного вида обработки:

$$T_т = (L/s_м)\, i, \quad L = l + l_1 + l_2 + l_3,$$

где L — полная длина перемещения заготовки или инструмента в направлении подачи, мм; l — длина обрабатываемой поверхности, мм; l_1 — величина врезания инструмента, мм; l_2 — величина перебега инструмента или заготовки в направлении подачи, мм; l_3 — величина дополнительной длины для взятия пробных стружек, мм; i — число рабочих ходов; $s_м$ — величина относительного перемещения заготовки или инструмента в направлении подачи в одну минуту, мм/мин,

$$s_м = s_z z n = sn.$$

Здесь s_z — подача на один зуб инструмента (фрезы, развертки и т. п.), мм; z — число зубьев инструмента; n — частота вращения или число двойных ходов в минуту; s — подача за один оборот, мм/об.

Технологическое время зависит от правильного выбора элементов режима резания: глубины резания, подачи и скорости резания. При этом назначение режимов при одноинструментной и многоинструментной обработке при общности припусков существенно отличается по показателям стойкости и экономической скорости резания, т. е. скорости резания, при которой себестоимость обработки будет наименьшей.

§ 32. Выбор режимов резания

При выборе режимов резания следует придерживаться определенного порядка. Сначала устанавливают глубину резания t в миллиметрах. Если припуск может быть снят в один рабочий ход, глубина резания определяется припуском на обработку. Глубину резания могут ограничивать недостаточная мощность привода станка,

нежесткость обрабатываемой заготовки, ненадежное закрепление ее на станке и другие факторы. При этих условиях надо снимать припуск за несколько рабочих ходов, уменьшая глубину резания. Глубина резания связана и с видом обработки. Например, при шлифовании припуск всегда снимают за несколько рабочих ходов.

После того как установлена глубина резания, выбирают подачу s. Подачу можно определить, исходя из возможностей станка и характера установки заготовки на станке. Лишь в чистовых и особенно в отделочных операциях основное влияние на выбор величины подачи оказывают технологические факторы, а именно: точность и шероховатость поверхности. Числовое значение подачи должно быть согласовано с паспортными данными станка.

Установив t и s, можно, пользуясь формулами, приведенными в теории резания металлов, определить скорость резания v (м/мин). Для того чтобы найти экономичное значение скорости резания при установленной глубине резания и подаче, пользуются следующей формулой:

$$v = C_v/(T^m t^x s^y),$$

где C_v — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, стойкости режущего инструмента, его материала, геометрии, размеров, условий резания (охлаждения) и др.; для резцов Т15К6 при стойкости 60 мин C_v для чугуна 0,88, для стали (закаленной) — 0,94; x и y — показатели степеней, различные для разных обрабатываемых материалов, материала режущего инструмента и условий обработки (так, например, при обработке заготовок из стали с $\sigma_в = 75$ кгс/мм^2 резцом Т15К6 $x = 0{,}18$; $y = 0{,}35$).

Определив глубину резания t, подачу s и скорость резания v, производят проверку соответствия выбранного режима паспортной мощности станка. Для этого вычисляют эффективную мощность резания (кВт):

$$N_э = P_z v/(60 \cdot 102),$$

где P_z — усилия, кгс ($P_z = C_p^* t s^{0{,}75}$).

Например, необходимо рассчитать режимы резания с проверкой по мощности станка при обтачивании валика $\varnothing$ 25 мм из углеродистой стали с $\sigma_в = 75$ кгс/мм^2 и НВ 215 резцом, оснащенным пластинкой Т15К6, при $t = 2$ мм и $s = 0{,}33$ мм/об.

Скорость резания определяется при стойкости резца $T = 90$ мин (значения соответствующих коэффициентов берутся из нормативов по режимам резания, приведенных в справочниках)

$$v = 141{,}5/(20^{0{,}18} \cdot 0{,}33^{0{,}35}) = 185 \text{ м/мин}.$$

Установив скорость резания v и подсчитав частоту вращения по формуле

$$n = 1000v/(\pi d) = 1000 \cdot 185/(3{,}14 \cdot 25) = 2357 \text{ об/мин},$$

подбирают по таблице на станке (или паспорту) ближайшее значение к найденной частоте вращения (2300 об/мин) и производят корректирование скорости резания v.

---

* Для наиболее распространенных видов металла коэффициент C_p имеет следующие значения: для углеродистой стали — 200; ковкого чугуна — 100, серого чугуна — 104.

Затем определяют усилие резания $P_z = 191 \cdot 2 \cdot 0{,}33^{0{,}75} = 168$ кгс и мощность станка $N_э = 168 \cdot 184/(60 \cdot 102) = 3$ кВт.

Зная установленную мощность электропривода станка, сопоставляют с ней эффективную мощность резания $N_э \leqslant N_{шпинделя}$.

При выборе режимов резания на многоинструментных станках принцип расчета сохраняется, но в этом случае осуществление его затрудняется тем, что общее машинное время при строгом соблюдении порядка назначения элементов резания может оказаться излишне большим. Это может иметь место в том случае, если нагрузка по времени на один какой-либо инструмент окажется слишком большой по сравнению со всеми инструментами, вследствие чего вся операция в целом не сможет закончиться до тех пор, пока все инструменты, участвующие в операции, не закончат обработку. Поэтому назначение режимов резания при многоинструментной обработке ведут по «лимитирующему», наиболее нагруженному инструменту.

Проектирование многоинструментной обработки (наладок) состоит из следующих этапов: 1) составление предварительного плана размещения инструментов по переходам и предварительный расчет режимов резания; 2) компоновка инструментов в наладке; 3) составление схемы наладки, включающей план размещения инструментов, уточнение режимов резания и производительности наладки; 4) конструирование оснастки. Многоинструментные наладки для обработки простых заготовок на многорезцовых станках можно составлять сразу в виде схем.

При одновременном использовании многоинструментных наладок на многошпиндельных или многопозиционных станках продолжительность обработки на всех позициях должна быть по возможности одинаковой и наименьшей. Синхронизация по времени достигается уменьшением длины хода или соответствующим корректированием режимов резания для отдельных инструментов. Лимитирующий переход, нарушающий синхронизацию работы, иногда целесообразно вынести в отдельную операцию.

При многоинструментных наладках следует принимать стойкость инструментов от 4 до 7 ч, т. е. из расчета смены инструментов не чаще 1...2 раз в смену. Чтобы обеспечить равномерную стойкость всех инструментов в наладке при значительной разнице диаметров обрабатываемых поверхностей, твердосплавные инструменты назначают только для обработки поверхностей больших диаметров, а для обработки поверхностей малых диаметров применяют инструменты из быстрорежущей стали. При недостаточной жесткости системы СПИД и большом количестве одновременно работающих резцов величины элементов режимов резания снижаются.

Расчет штучного времени при многоинструментной наладке и параллельной обработке производят по формуле

$$T_{шт} = (1{,}15 \ldots 1{,}2)(T_т + T_в).$$

Установление оптимального периода стойкости является одним из основных условий нормирования при многоинструментной обработке. При работе одним инструментом стойкость резца обычно принима-

ется 60 мин, при этом время на замену инструмента по нормативным данным полагается 0,7 мин или удельный вес времени на замену инструмента составляет 1...1,5% машинного времени. Если в работе участвуют одновременно 10...15 резцов, то при той же стойкости время на их замену будет составлять 15...25% от машинного времени. Очевидно, что для уменьшения удельного веса времени на замену резцов нужно увеличить время стойкости T этих резцов, что может быть достигнуто прежде всего снижением скорости резания, как это видно из формулы

$$v = C/T^m, \quad \text{или} \quad vT^m = C,$$

где C — коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и геометрии инструмента, охлаждения и других условий обработки; m — показатель относительной стойкости ($m = 0{,}125...0{,}3$). Если скорость резания уменьшается, то имеем следующую зависимость:

$$v_1 T_1^m = C = v_1 T^m, \quad v_1 = v\,(T/T_1)^m$$

$$\text{или} \quad T_1 = T\,(v/v_1)^{1/m}.$$

Если уменьшить скорость резания на 15%, то при $m = 0{,}2$ стойкость резцов повышается от 60 до 140 мин, т. е. в 2,4 раза.

При выборе режимов следует иметь в виду, что нормативные материалы предусматривают только средние значения глубин резания, подач и скоростей резания. Эти величины, как уже указывалось выше, зависят от многих факторов (качества обрабатываемого материала, его физико-механических свойств, материала и геометрии режущего инструмента, мощности оборудования и его технической характеристики, жесткости системы СПИД), поэтому в практике производства эти средние значения величин могут быть увеличены или уменьшены в зависимости от конкретных условий работы.

Глава VIII
ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ ИЗДЕЛИЙ

§ 33. Понятие о технологичности и правила отработки конструкции изделия на технологичность

При современном уровне машиностроительного производства разработка конструкции изделий должна базироваться как на удовлетворении требований служебно-эксплуатационного характера, так и производственных требований, обусловленных возможностью применения высокопроизводительных и рентабельных технологических процессов с учетом конкретных условий и объема производства.

Единым критерием технологичности конструкции изделия является ее экономическая целесообразность при заданном качестве и принятых условиях производства, эксплуатации и ремонта. Отработка конструкции изделия на технологичность должна обеспечивать снижение трудоемкости и себестоимости изготовления изделия и снижение трудоемкости, цикла и стоимости работ по обслуживанию изделия при эксплуатации.

Комплекс работ по снижению трудоемкости и себестоимости изготовления в общем виде предусматривает: повышение серийности посредством стандартизации, унификации и группирования деталей и их элементов по конструктивно-технологическим признакам; ограничение номенклатуры конструкций и применяемых материалов, преемственность конструктивных решений; снижение массы изделия и применение высокопроизводительных типовых технологических процессов и средств технологического оснащения. Комплекс работ по снижению трудоемкости, цикла и стоимости работ при эксплуатации включает рациональное выполнение конструкций, обеспечивающих удобство технического обслуживания и ремонта при обеспечении необходимого качества изделия (надежности и долговечности).

Технологичность конструкции изделия оценивают количественно посредством системы показателей, которые характеризуют технологическую рациональность конструктивных решений и приемственность конструкции или пригодность к использованию (применяемость) в составе других изделий. При проведении отработки конструкции на технологичность учитываются базовые (исходные) показатели технологичности конструкции — представители группы изделий, обладающих общими конструктивными признаками. Состав базовых показателей технологичности конструкции, их оптимальные значения и предельные отклонения определяются для однотипных изделий отраслевыми стандартами, разрабатываемыми на основе ГОСТ 14.201—73.

Отработка конструкции изделия на технологичность осуществляется на всех стадиях разработки конструкторской документации, начиная с эскизного проекта вплоть до разработки рабочей документации для изготовления и испытания установочных серий и серийного или массового производства. Исполнителями отработки конструкции изделия на технологичность являются разработчики конструктивной и технологической документации, обеспечивающие технологичность конструкции изделия при его проектировании и осуществляющие как технологический контроль, так и подготовку и внесение изменений по ГОСТ 2. 503—68 в конструкторскую документацию. Ниже приводится основное содержание отработки конструкции изделия на технологичность по стадиям разработки конструкторской документации.

Так, в процесс эскизного проекта входят: выбор из возможных вариантов принципиальной схемы наиболее простого; установление (по возможности) базовой конструкции, которая должна быть положена в основу проектируемого изделия; унификация сборочных единиц и основных деталей как в пределах проектируемого изделия, так и изделий, находящихся в производстве; разбивка изделия на самостоятельные сборочные единицы; обеспечение технологичности оригинальных деталей; выбор рациональных заготовок для оригинальных деталей.

На стадии технического проекта выявляется конструкция изделия и его сборочных единиц и предопределяется конструктивная форма всех деталей. На этом этапе работы решаются основные вопросы

технологичности заготовок, механической обработки и сборки; выбор наиболее простой конструкции сборочных единиц и деталей; выбор баз сборки; выявление и расчет важнейших размерных цепей; обеспечение выполнения требований технологичности сборки (разбивка конструкции на самостоятельные замкнутые сборочные единицы); обеспечение выполнения основных технологических требований в связи с механической обработкой (доступность обработки и т. п.); обеспечение выполнения технологических требований, предъявляемых к форме и основным размерам заготовок.

В процессе разработки рабочей документации дорабатываются все вопросы технологичности конструкции каждой детали и всего изделия в целом. Особое внимание обращается на: выбор технологических баз деталей в соответствии с конструктивными базами и базами сборки; правильную простановку размеров и назначение оптимальных допусков на основе размерного анализа и удовлетворения конструктивных и производственно-технологических требований; выбор наиболее дешевых и недефицитных материалов; максимальное ограничение номенклатуры применяемых марок и профилей материала; соблюдение всех требований, предъявляемых к оформлению элементов конструкции заготовок (толщина стенок, радиусы переходов, уклоны, линии разъема и т. п.); соблюдение всех требований, предъявляемых к технологичности элементов конструкции при механической обработке (доступность обработки, возможность входа и выхода инструментов, наличие надежных поверхностей для крепления деталей при механической обработке и т. д.); максимальную унификацию элементов конструкции (диаметров, резьб, шлицевых соединений, модулей и т. д.).

При изготовлении опытных образцов (опытной партии) конкретизируются условия обеспечения требований технологичности, в том числе использование типовых технологических процессов и средств технологического оснащения с учетом вида и масштаба производства. При подготовке к выпуску установочной серии проверяется технологичность заготовок и оригинальных деталей с учетом применения минимально необходимого количества оснастки для их изготовления; при этом в чертежи должны быть внесены необходимые исправления, выявленные при испытании опытного образца, и осуществляется окончательная отработка конструкции на технологичность. При подготовке к серийному или массовому производству окончательно проверяется технологичность конструкции в соответствии с разрабатываемым рабочим технологическим процессом. При тщательной отработке чертежей на предыдущих этапах исправления, выявленные при составлении рабочей технологии, будут относительно невелики и коснутся главным образом простановки размеров.

§ 34. Технологическая рациональность конструктивных решений

Технологическую рациональность конструктивных решений характеризуют показатели, учитывающие взаимосвязь основных параметров трудовых и материальных затрат с показателями качества изделия, в том числе показателями назначения, надежности и эргономичности

(удобство при эксплуатации и ремонте, эстетичность формы и т. п.). Количество показателей (комплексных и частных), применяемых для оценки уровня технологичности, должно быть минимальным, но достаточным. Расчет показателей технологичности производят по отраслевым методикам, разработанным на основе «Методики отработки конструкции на технологичность и оценки уровня технологичности изделий машиностроения и приборостроения», утвержденной Государственным Комитетом стандартов Совета Министров СССР.

Этими показателями являются трудоемкость изготовления изделия, относительная трудоемкость заготовительных работ по видам, технологическая себестоимость изделия, удельная материалоемкость изделия и ряд коэффициентов, учитывающих использование и применяемость материалов, применение типовых технологических процессов, сборности конструкции, точности обработки, шероховатости поверхности и эффективности взаимозаменяемости.

Трудоемкость и себестоимость изготовления изделия зависят не только от конструкции, но и в значительной степени от выбранного технологического процесса, его оснащенности и режимов обработки. Поэтому при определении технологичности конструкции изделия необходимо исключить влияние принятого технологического процесса, чтобы можно было определять уровень технологичности данной конструкции как отношение трудоемкости и себестоимости ее изготовления к трудоемкости и себестоимости изготовления других конструктивных вариантов этого изделия в аналогичных, сопоставимых производственных условиях.

Если обозначить уровень технологичности конструкции двух конструктивных вариантов изделий через K_1 и K_2, а трудоемкость их изготовления при одинаковых производственных условиях и одинаковом количестве выпускаемых изделий — через T_1 и T_2, то получим

$$K_1/K_2 = T_1/T_2 \quad \text{или} \quad K_1 = mK_2,$$

где $m = T_1/T_2$ — степень технологичности первого конструктивного варианта изделия.

Для n изделий одинаковых конструкций степень технологичности различных вариантов составляет

$$m_1 = T_1/T_n; \quad m_2 = T_2/T_n; \ \ldots; \ m_{n-1} = T_{n-1}/T_n.$$

При определении общей трудоемкости изготовления изделия суммируют трудоемкости изготовления отдельных его деталей, сборки его составных частей (сборочных единиц) и изделия в целом, поэтому технологичность конструкции изделия можно рассматривать как сумму технологичности конструкций его отдельных деталей и сборочных единиц.

Количественная оценка технологичности конструкции производится по основным показателям, характеризующим уровни технологичности конструкции по трудоемкости и себестоимости. Уровень технологичности конструкции по трудоемкости изготовления $K_{у.т}$ определяется как отношение достигнутой трудоемкости изделия $T_и$

к базовому показателю трудоемкости ($T_{б.и}$):

$$K_{у.т} = T_и / T_{б.и}.$$

Уровень технологичности конструкции по технологической себестоимости ($K_{у.с}$) определяется как отношение достигнутой себестоимости изделия $C_т$ к базовому показателю технологической себестоимости изделия ($C_{б.т}$):

$$K_{у.с} = C_т / C_{б.т}.$$

Предварительный расчет $K_{у.т}$ и $K_{у.с}$ в процессе проектирования изделия может производиться по приближенным расчетам трудоемкости и себестоимости изготовления основных составных частей, используя статистические данные по изделиям-представителям и соответствующие корректирующие коэффициенты.

Технологичность конструкции изделия, деталей и сборочных единиц необходимо оценивать в процессе ее создания, при технологическом контроле чертежей в период разработки конструкции. Предварительно разработанный чертеж детали, сборочной единицы или изделия поступает на технологический контроль, а затем на окончательную конструктивную разработку. Однако оценка технологичности конструкции при этих условиях может оказаться субъективной, если она зависит только от уровня знаний технолога, осуществляющего технологический контроль.

При объективной оценке технологичности конструкции изделия его деталей и сборочных единиц учитывают положительные факторы, определяющие технологичность конструкции. К ним относятся: оптимальные формы деталей, обеспечивающие изготовление заготовок с наименьшими припусками и наименьшим количеством обрабатываемых поверхностей; наименьшая масса изделия; наименьшее количество наименований материалов, применяемых в конструкции изделия; взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц с оптимальными * значениями полей допуска; стандартизация и унификация деталей и сборочных единиц, а также их отдельных конструктивных элементов (резьб, модулей, зубчатых колес, радиусов, галтелей и т. д.).

Выбор оптимальных форм детали зависит от ее конструктивного и эксплуатационного назначения. Оценка технологичности данной детали может быть основана на сравнении трудоемкости изготовления различных конструктивных вариантов этой детали. Чтобы обеспечить условия создания оптимальных форм деталей, применяют определенные технологические методы изготовления и обработки заготовок.

Так, корпусные детали изготовляют литыми или сварно-литыми, а также штампосварными. Конструкции литых заготовок (чугунных или стальных) корпусных деталей должны отвечать тре-

---

* Под *оптимальными* допусками следует понимать значения допусков настолько большие, насколько это возможно при полном обеспечении качественных показателей работы конструкции.

бованиям машинной формовки: толщина стенок в разных сечениях не должна иметь резких отклонений и переходов. Конструкции деталей из цветных сплавов должны быть удобными для литья в постоянные металлические формы.

Оптимальная конструктивная форма корпусной детали, обрабатываемая с наименьшей трудоемкостью, должна отвечать следующим основным условиям: иметь правильную геометрическую форму, обеспечивающую возможность ее полной обработки от одной базы (от плоскости и двух установочных отверстий, перпендикулярных ей); обеспечивать возможность обработки плоскостей и торцов с отверстиями на проход, поэтому плоскости и торцы не должны иметь выступов, мешающих этой обработке. Размеры обрабатываемых отверстий внутри детали не должны превышать соосных им отверстий в наружных стенках детали; не иметь поверхностей, не перпендикулярных осям отверстий как у входа, так и на выходе сверла; избегать многообразия размеров отверстий и резьб; возможность обработки без спаривания с другой корпусной деталью.

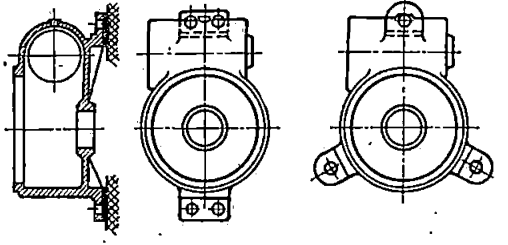
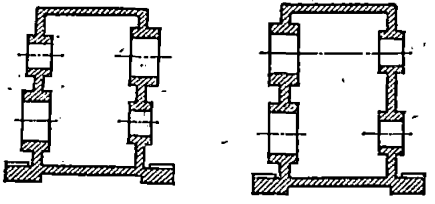
Основные требования, предъявляемые к технологичности конструкций деталей, представляющих собой тела вращения без отверстий, а также деталей сложной формы этого вида, изготовляемых в большинстве случаев из прутка или штампованной заготовки, реже — из отливок, заключаются в следующем: конструкция деталей должна предусматривать небольшое количество обрабатываемых поверхностей, сопрягаемых с другими деталями; конструктивная форма деталей должна обеспечивать возможность штамповки их в закрытых штампах, для чего следует избегать удлиненных выступов, сечений с большой разностью толщин, глубоких полостей и т. п. При несоблюдении этих условий штампованные заготовки имеют только приближенную форму к готовой детали и обычно проходят значительное количество операций механической обработки даже нерабочих поверхностей, с большими отходами металла в стружку.

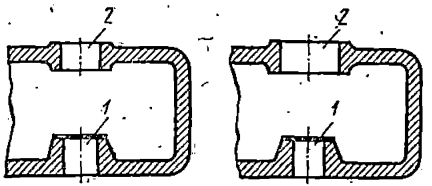
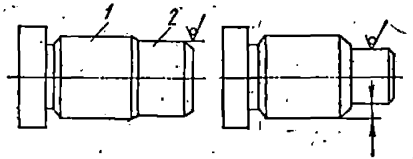
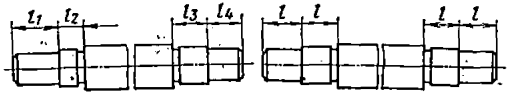
Основные требования, предъявляемые к технологичности конструкции деталей тел вращения, имеющих сквозные отверстия, а также деталей типа дисков, изготовляемых из отливок, штамповок, листа и ленты, характеризуются следующими условиями: конструкция деталей должна предусматривать обработку только сопрягаемых поверхностей, а форма деталей должна обеспечивать возможность получения заготовок с минимальными припусками; конструкция этих деталей должна предотвращать их деформацию при термической обработке; допуски на размеры точных деталей при обеспечении надлежащих эксплуатационных требований не должны усложнять технологии производства.

В табл. 9 приведены примеры конструктивных решений, обеспечивающих технологичность конструкций деталей машин.

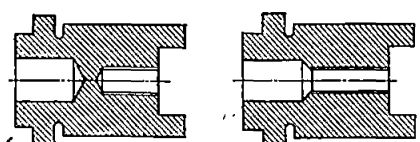
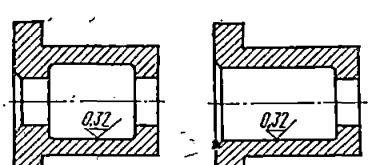
Технологичность конструкций мелких и крепежных деталей, изготовляемых из отливок, штамповок и пруткового материала, обеспечивается небольшим количеством обрабатываемых поверхностей с минимальными припусками на обработку. Основным

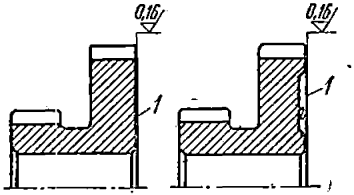
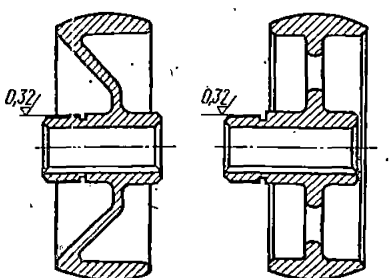
Таблица 9. **Примеры некоторых конструктивных решений, обеспечивающих технологичность корпусных деталей, валов, втулок, шестерен и шкивов**

Вид деталей	Технологические требования к детали	Эскизы конструктивных решений		Технологическое обоснование конструктивного решения
		нетехнологичных	технологичных	
Корпусные детали	Корпусные детали должны иметь хорошо развитые опорные технологические базы, обеспечивающие надежное жесткое крепление деталей в процессе механической обработки с расположением этих баз в одной плоскости			Корпус имеет недостаточно развитую опорную базу, что не обеспечивает его устойчивого положения при обработке и ограничивает применение высоких режимов резания
	При наличии соосных отверстий на нескольких параллельных осях целесообразно предусматривать убывание диаметров отверстий в одном направлении на всех осях			Отверстие в детали можно обрабатывать только с поворотом детали, сначала обрабатывают отверстия, расположенные на одной оси, после поворота — отверстия, расположенные на другой оси. Поворот детали увеличивает погрешность в относительном расположении отверстий. В технологичной конструкции этот недостаток устранен

	Внутренние торцевые поверхности должны быть легко доступны для обработки		Внутренний торец *1* обрабатывается через отверстие *2* зенкером, насаживаемым на оправку, что при небольшом отверстии *2* малопроизводительно. С увеличением отверстия указанный торец можно обрабатывать на предварительно настроенном станке с высокой производительностью
Валы	Следует четко отделять обрабатываемые поверхности от необрабатываемых, предусматривая в конструкции детали выступы достаточной высоты		Недостаточная разница диаметров поверхностей *1* и *2* в ряде случаев вызывает необходимость обработки не только поверхности *1*, но и поверхности *2*, что увеличивает трудоемкость обработки. При достаточной разнице в диаметральных размерах этот недостаток устраняется
	В многоступенчатых валах размеры ступеней по длине следует устанавливать одинаковыми или кратными		При одинаковой или кратной длине ступеней вала время обработки уменьшается, так как это определяется временем, необходимым для обработки самой короткой ступени, причем обработка может производиться одновременно

Продолжение табл. 9

Вид деталей	Технологические требования к детали	Эскизы конструктивных решений		Технологическое обоснование конструктивного решения
		нетехнологичных	технологичных	
Втулки	Конструкция втулок должна обеспечивать возможность обработки их с одной стороны			В первом случае отверстия, расположенные с обоих торцов детали, могут быть обработаны за две операции; при этом нарезание резьбы в глухом отверстии сопряжено с частой поломкой инструмента; во втором случае обработка отверстий осуществляется за одну операцию при упрощении операции нарезания резьбы
	Конструкция втулки должна обеспечивать свободный вход и выход инструмента и удобство выполнения обработки			Втулка с открытым с одной стороны отверстием обрабатывается на предварительно настроенном станке. Измерение детали и наблюдение за процессом не вызывают затруднений

Шестерни и шкивы	Объем механической обработки должен быть минимальным		Торцевая поверхность *1* шестерни является базой для нарезания зубьев, в связи с этим она должна быть чистой и строго перпендикулярной оси шестерни. Для сокращения трудоемкости следует ограничить размер торца, подвергаемого обработке
	Обрабатываемые поверхности должны быть доступны для обработки		Наружную поверхность ступицы можно шлифовать, если вынести ее за торец

требованием, предъявляемым к форме мелких деталей, является возможность их изготовления высокопроизводительными методами: штамповкой на ковочных машинах или ковочных прессах, литьем под давлением с одновременной формовкой и заливкой нескольких деталей, изготовлением деталей из ленты на автоматизированных прессах, а также формообразованием деталей из пруткового материала методом холодной высадки или высадки с индукционным нагревом.

Наименьшая масса изделия, сборочных единиц и деталей задается расчетным путем с учетом оптимального запаса прочности, созданием оптимальных конструктивных форм деталей и применением высокопрочных материалов.

Наименьшая масса изделия предопределяет и снижение трудоемкости ее изготовления. Между массой изделия и трудоемкостью ее изготовления существует определенная зависимость. Необходимо также отметить, что наименьшая масса изделия является производственно-технологическим фактором и имеет эксплуатационное значение. Так, минимальная масса вагонов, тракторов, автомобилей и других транспортных средств обеспечивает и минимальный расход энергии на их передвижение.

Относительно более технологичной следует считать конструкцию изделия, в которой применено наименьшее количество наименований различных материалов. Многообразие материалов усложняет процесс производства и прежде всего заготовительные операции, а также механическую обработку, так как разные марки материала требуют применения инструментов с различными углами заточки и различных режимов резания. При многообразии марок материала увеличиваются номенклатура и запасы материалов на складах; возрастает вероятность простоя оборудования из-за отсутствия той или иной марки и профиля материала, что приводит к необходимости замены одного профиля другим с соответствующим увеличением трудоемкости изготовления деталей, сборочных единиц и машины в целом.

Обеспечение взаимозаменяемости сборочных единиц и деталей с оптимальными значениями допусков является также существенным фактором, характеризующим технологичность конструкции машины. Отсутствие взаимозаменяемости узлов и деталей значительно увеличивает трудоемкость изготовления машин вследствие пригоночных или регулировочных работ. Взаимозаменяемость деталей и сборочных единиц машины предусматривает их изготовление с размерами в определенном поле допуска.

Однако чем точнее размеры, тем больше трудоемкость изготовления детали, т. е. машина становится менее технологичной. Трудоемкость деталей, изготовляемых с высокой точностью, значительно увеличивается из-за дополнительных доводочных операций. Поэтому точность изготовления деталей должна находиться в пределах оптимальных значений допусков, обеспечивающих взаимозаменяемость деталей, качество и эксплуатационные требования, предъявляемые к машине или механизму.

§ 35. Преемственность конструкции и конструктивных решений

Технологичность конструкции машины значительно улучшается в результате использования конструктором большого количества нормализованных, стандартизованных и унифицированных (т. е. геометрически и физически тождественных) деталей. Такие сборочные единицы и детали обеспечивают значительное снижение трудоемкости в результате применения поточных методов работы, высокопроизводительного оборудования и оснастки. Наряду с этим применение указанных сборочных единиц и деталей снижает трудоемкость эксплуатационных ремонтов, сокращает номенклатуру запасных частей, дает возможность использовать одни и те же сборочные единицы и детали для разных типоразмеров машин. Например, для специальных агрегатных станков и автоматических линий применяют одни и те же стандартные силовые сверлильные головки нескольких типоразмеров; для станков различных типов — одни и те же гидронасосы, панели гидроуправления, приборы электрического управления. Для различных типов и размеров станков нередко применяют общие детали управления, подшипники, сальники уплотнения, детали коробок скоростей и подач, крепежные детали и т. п.

Помимо унифицированных деталей в конструкции каждой машины есть значительное количество оригинальных деталей, которые, различаясь по форме, могут иметь отдельные обрабатываемые поверхности, аналогичные с поверхностями других деталей этой машины. Суммарное количество диаметров отверстий и валов, шпоночных и шлицевых соединений, резьб, модулей зубчатых колес, диаметров и длин крепежных деталей, различных допусков размеров на валы и отверстия и т. п. также может быть сведено до минимального. При этом необходимое количество типоразмеров режущего, мерительного и других видов инструмента будет также значительно сокращено. В результате сокращения номенклатуры инструмента улучшаются условия его изготовления, упрощается снабжение инструментом цехов, участков, линий и рабочих мест.

Таким образом, конструкция машины, имеющая максимально возможное количество унифицированных конструктивных элементов деталей, является более технологичной по сравнению с машиной, в которой такая унификация не сделана или недостаточна.

Оценка технологичности конструкции по признаку унификации например, сборочных единиц, деталей и отдельных конструктивных элементов деталей осуществляется по показателям, характеризующим преемственность конструкции. К числу этих показателей относятся коэффициенты, учитывающие стандартизацию и унификацию конструкции изделия и конструктивных элементов.

Коэффициент унификации изделия определяется по формуле

$$K_{\text{у}} = E_{\text{у}} + D_{\text{у}}/(E + D),$$

где $E_{\text{у}} = E_{\text{у. з}} + E_{\text{у. п}} + E_{\text{ст.}}$ — число унифицированных сборочных единиц в изделии; $D_{\text{у}} = D_{\text{у.з}} + D_{\text{у. п}} + D_{\text{ст}}$ — число унифицированных

деталей, являющихся составными частями изделия и не вошедших в $E_у$ (стандартные крепежные детали не учитываются); $E_{у.з}$ и $D_{у.з}$ — соответственно число заимствованных унифицированных сборочных единиц и деталей; $E_{у.п}$ и $D_{у.п}$ — соответственно число покупных унифицированных сборочных единиц и деталей; $E_{ст}$ и $D_{ст}$ — соответственно число стандартных сборочных единиц и деталей; $E = E_у + E_{ор}$ — количество сборочных единиц в изделии; $D = D_у + D_{ор}$ — количество деталей, являющихся составными частями изделия; $E_{ор}$ и $D_{ор}$ — соответственно число оригинальных сборочных единиц и деталей.

Показатель выражает унификацию изделия, учитывая все его составные части, исключая крепежные детали.

Коэффициент унификации сборочных единиц изделия $K_{у.е}$ определяется как отношение унифицированных сборочных единиц изделия к общему числу сборочных единиц в изделии:

$$K_{у.е} = E_у/E.$$

Коэффициент унификации деталей изделия $K_{у.д}$ определяется как отношение унифицированных деталей к общему числу деталей в изделии, кроме крепежных:

$$K_{у.д} = D_у/D.$$

Коэффициент унификации конструктивных элементов $K_{у.э}$ определяется по формуле

$$K_{у.э} = Q_{у.э}/Q_э,$$

где $Q_{у.э}$ — число унифицированных типоразмеров конструктивных элементов; $Q_э$ — число типоразмеров конструктивных элементов в изделии.

Примерами конструктивных элементов изделия являются резьбы, крепления, галтели, проточки, отверстия и т. д.

Глава IX
ПОРЯДОК ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ОСНОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

§ 36. Исходные данные и последовательность технологических расчетов

Для правильного построения технологического процесса обработки основных поверхностей детали необходимы исходные данные, определяющие применение тех или иных методов обработки. К ним относятся: рабочие чертежи деталей, сборочных единиц и изделия, производственная программа, данные о заготовках, стандарты и каталоги на средства технологического оснащения (оборудование и оснастка), а также нормативы технологических режимов и нормативы материальных и трудовых затрат.

К исходным данным относятся также следующие виды технико-экономической информации: технологический классификатор объек-

тов производства, классификатор технологических операций, система обозначения технологических документов, стандарты ЕСТД и типовые технологические процессы и операции [см. гл. I].

Рабочие чертежи деталей должны быть выполнены в соответствии с ЕСКД (ГОСТ 2. 101—68) с исчерпывающей полнотой и отвечать следующим требованиям: содержать достаточное количество проекций видов, разрезов и сечений, позволяющих иметь правильное представление о форме детали; иметь обозначения всех допусков на размеры детали либо в форме отклонений от номинальных размеров, либо в форме условных обозначений посадок и классов точности; для всех поверхностей, подлежащих механической обработке, иметь указание о шероховатости поверхности в виде условного обозначения; иметь указание о материале детали, его твердости и термической обработке, что важно для правильного назначения режимов резания; содержать указания о количестве деталей, подлежащих установке на каждую машину, и особые требования к обработке (например, необходимость местной термической обработки и т. п.); содержать все технические условия изготовления, определяющие точность геометрической формы поверхностей, точность их взаимного расположения и особые условия (точность соблюдения массы, необходимость сортировки на группы по размерам или другим признакам и т. п.), а также условия, которые должны быть обеспечены для правильной сборки деталей в сборочные единицы.

Производственная программа. Учитывая производство и современное многообразие средств производства (наличие станков различных типов и различной производительности), а также возможности применения различных методов обработки (использование однопозиционных и многопозиционных приспособлений или приспособлений с непрерывно вращающимся столом и т. п.), при проектировании технологического процесса необходимо знать количество деталей, подлежащих изготовлению в определенный промежуток времени.

Данные о заготовке. Составляя план механической обработки, принимают во внимание метод получения заготовки (литье, штамповка, прокат и т. п.) и точность ее как фактор, определяющий припуски, подлежащие снятию в процессе обработки. Желательно иметь чертеж заготовки с техническими условиями на ее изготовление, так как расположение и размеры уклонов штамповок и литья необходимо учитывать при выборе черновых баз, а также при проектировании приспособлений для механической обработки. Важное значение имеют расположение литников и выпоров на отливках и термическая обработка, проводимая в заготовительных цехах перед механической обработкой, как факторы, определяющие обрабатываемость материала.

Средства технологического оснащения. Данные об оборудовании предопределяют возможность применения того или иного процесса обработки. Например, при проектировании технологического процесса учитывают использование действующего на пред-

приятии оборудования или необходимость приобретения новых станков соответствующей номенклатуры.

Данные о технологической оснастке характеризуют технологическую оснащенность производства и предопределяют качественную сторону разрабатываемого технологического процесса, на выбор которого влияют точность и шероховатость поверхности обрабатываемой детали. Повышение требований к качеству поверхностей обрабатываемых деталей неминуемо ведет к изменению характера технологии, т. е. к увеличению количества операций, переходов и рабочих ходов при обработке, а нередко и к применению специальных отделочных операций.

Нормативы технологических режимов и трудовых и материальных затрат должны быть положены в основу проектирования любого технологического процесса. Эти показатели должны учитывать, при каких условиях с соблюдением всех требований чертежа обработка детали будет осуществлена с наименьшими затратами.

Используемая при разработке технологических процессов приведенная выше технико-экономическая информация обеспечивает единый для всех предприятий системный подход к применению методов и средств технологической подготовки производства (ТПП) с дальнейшим использованием этой информации как первичной в автоматизированных системах управления (АСУ).

Разработке технологических процессов в обязательном порядке предшествует группирование деталей по конструктивно-технологическим признакам и выявления экономической целесообразности разработки типовых технологических процессов. Необходимость разработки типовых технологических процессов определяется количеством деталей, вошедших в группы, и характеризуемых единством содержания и последовательности большинства операций и переходов.

Прежде чем приступить к составлению технологического процесса, необходимо тщательно ознакомиться с системой простановки размеров на чертеже, определяющих взаимное расположение обрабатываемых поверхностей. Простановка размеров на чертеже в значительной степени предопределяет выбор установочных баз и последовательность обработки, так как в первую очередь обрабатывают те поверхности, от которых определяется большое число других поверхностей.

После выбора установочных баз и технологического маршрута производят расчет припусков, в результате которого с учетом заданной точности и класса шероховатости поверхности определяют необходимые переходы, находят промежуточные размеры заготовки по всем переходам от готовой детали до черновой заготовки, устанавливают допуски на межоперационные размеры в пределах заданного класса точности. При этих расчетах выявляется целесообразность раздельного выполнения черновой и чистовой, а в ряде случаев получистовой обработки.

При разделении процесса на черновые и чистовые операции каждая поверхность детали получает окончательную форму и размер не сразу,

а претерпевает изменения постепенно, параллельно с подобными же изменениями, которым подвергаются другие поверхности. Каждая поверхность обрабатывается несколько раз на разных операциях, каждая предшествующая операция подготавливает поверхность к обработке на последующей операции. При переходе от одной операции к другой точность поверхности постепенно повышается; возрастает и точность ее расположения относительно других поверхностей детали.

Целесообразность деления процесса на черновые и чистовые операции объясняется следующим. При обработке какой-либо поверхности нельзя избежать некоторого искажения ранее обработанных поверхностей из-за перераспределения внутренних напряжений в детали при снятии припуска и вследствие закрепления детали при обработке. Если какую-либо поверхность высокой точности сразу же обработать окончательно, то она в результате перераспределения внутренних напряжений, вызванного обработкой других поверхностей, неизбежно потеряет свою точность. Кроме того, эта поверхность может быть повреждена при закреплении детали, а также при транспортировке детали с операции на операцию. Искажения под влиянием внутренних напряжений тем меньше, чем тоньше снимаемый слой металла. При чистовой операции, т. е. при окончательной обработке, снимаются небольшие припуски и деталь уже не может получить существенных искажений. Особенно важно делить процесс на черновые и чистовые операции при обработке маложестких деталей.

Разделение процесса позволяет рационально использовать не только оборудование, но и особенности различных методов обработки. Например, черновой обработкой удаляется бо́льшая часть общего припуска, но при этом не требуется высокая точность; стало быть, черновая обработка может выполняться на станках, позволяющих снимать стружку бо́льшего сечения. Окончательную же обработку, назначение которой — довести деталь до заданной точности, можно производить на других станках и другими методами, обеспечивающими эту точность. Например, черновую и чистовую обработку цилиндрических поверхностей можно выполнить на токарных станках, а окончательную — на шлифовальном и в целом достичь наилучших результатов как по производительности, так и по точности.

Заготовки с небольшими припусками, достаточно жесткие, прошедшие термическую обработку для снятия внутренних напряжений, можно обрабатывать сразу же начисто, если объем обработки невелик и не требуется особой точности. При обработке корпусных деталей деление на черновые и чистовые операции нередко оказывается нежелательным из-за трудностей установки таких деталей на станке. Однако если требования к точности обработки высоки, то и в этих случаях неизбежно разделение операций на черновые и чистовые.

При составлении плана обработки детали прежде всего решают вопрос о числе и содержании операций технологического процесса, исходя из двух различных принципов: принципа к о н ц е н т р а ц и и и принципа д и ф ф е р е н ц и а ц и и операций. Первое направление характеризуется стремлением сосредоточить в одной операции обра-

ботку возможно бо́льшего числа поверхностей. Пределом концентрации является выполнение всей обработки детали в одну операцию. Второе направление, наоборот, предусматривает разукрупнение обработки и упрощение каждой операции путем увеличения их числа. Пределом дифференциации является разделение технологического процесса на такие операции, каждая из которых будет состоять только из одного простого перехода.

Важным вопросом обеспечения точности изготовления детали является выбор установочной базы для обработки детали на первой операции. Эта операция предназначена для обработки той поверхности, которая в дальнейшем будет служить технологической базой для всего процесса.

При выборе технологических баз необходимо руководствоваться следующими положениями:

а) технологическая база должна быть обработана с точностью, обеспечивающей получение деталей требуемого качества. Точность обработки базовых поверхностей должна быть в 2...3 раза выше точности обработки тех поверхностей, которые обрабатываются от этих баз;

б) технологические базы по возможности должны являться одновременно конструкторскими, а также измерительными базами;

в) при необходимости особенно точно выдержать допуск на расположение обрабатываемой поверхности в качестве установочных необходимо выбирать те поверхности, от которых должны выдерживаться заданные размеры, или обрабатывать их за один установ;

г) выбранные установочные базы не должны допускать деформаций детали, которые могут быть вызваны действием силы зажимов или усилий резания при простоте конструкции приспособления;

д) при обработке поверхности, выбранной в качестве технологической базы, следует устанавливать деталь по поверхности, которая остается черновой в окончательно обработанной детали. Если таких поверхностей несколько, то деталь устанавливают по той из них, которая должна иметь наименьшее смещение. При обработке базовой поверхности детали со всех сторон ее установка производится по той поверхности, которая имеет наименьший припуск на обработку. Вся дальнейшая обработка ведется от обработанных базовых поверхностей.

§ 37. Выбор технологической схемы обработки

В общем виде схема выбора последовательности операций производится следующим образом. Обработка должна начинаться с поверхности, которая будет являться технологической базой для установки детали в процессе ее изготовления, причем обработка поверхности должна выполняться с такой точностью (по линейным размерам и геометрической форме), которая обеспечила бы необходимую точность установки детали при дальнейших операциях.

Порядок чередования последующих операций механической обработки должен быть обратным их точности, т. е. обработка должна

начинаться с операций наиболее грубых, главным образом связанных со снятием корки, после чего надлежит переходить к операциям чистовым и заканчивать обработку отделочными и доводочными операциями.

Разберем пример обработки фланцевой втулки (рис. 45).

Прежде всего выбираем технологическую базу для установки детали в процессе всей обработки. Выбирая технологическую базу, нужно проанализировать условие работы данной детали в собранном

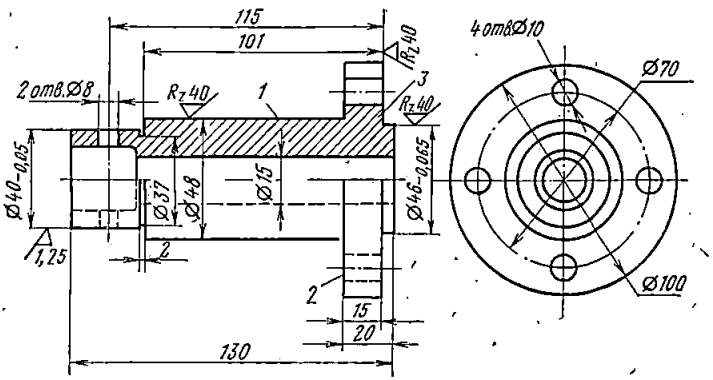


Рис. 45.

узле и определить ее конструкторскую базу, помня о том, что технологическая и конструкторская базы по возможности должны совпадать.

Конструкторской базой для рассматриваемой втулки являются ось и торец фланца ∅ 100 мм, которым втулка прилегает к корпусу. Основной базой является буртик $\varnothing\ 46_{-0,065}$, с помощью которого деталь центрируется в расточенном отверстии корпуса, с которым она сопрягается.

В табл. 10 приводится технологическая схема обработки фланцевой втулки с подробным изложением и обоснованием последовательности выполнения операций, а также базирования.

Таблица 10. **Технологическая схема обработки фланцевой втулки**

Наименование операции	Выбор баз	Назначение операции
Обтачивание в два прохода буртика $\varnothing\ 46_{-0,065}$, обтачивание фланца $\varnothing$ 100, подрезание торца фланца $\varnothing$ 100, выдержав размеры 15 и 20	Поверхность *1* (обеспечивающая концентричность буртика $\varnothing\ 46_{-0,065}$ относительно поверхности *1*) и торец *2* (обеспечивающий размер 15 между подрезанным торцом $\varnothing$ 100 и торцом *2*)	Обеспечение точного расположения поверхностей, выбранных в качестве технологической базы (буртик $\varnothing\ 46_{-0,065}$ и торец $\varnothing$ 100) относительно поверхностей, которые останутся у окончательно обработанной детали черновыми (поверхность *1* и торец *2*), с тем

Продолжение табл. 10

Наименование операции	Выбор баз	Назначение операции
		чтобы буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ был обточен концентрично поверхности *1* и торец $\varnothing 100$ был подрезан в размер 15 относительно торца *2*
Сверление отверстия $\varnothing 15$	Буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ (обеспечивающий концентричность отверстия $\varnothing 15$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$) и подрезанный торец $\varnothing 100$ (обеспечивающий перпендикулярность оси отверстия $\varnothing 15$ относительно подрезанного торца $\varnothing 100$)	Обеспечение концентричности расположения отверстия $\varnothing 15$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$ и перпендикулярность оси отверстия $\varnothing 15$ относительно подрезанного торца $\varnothing 100$
Сверление четырех отверстий $\varnothing 10$	Буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ (обеспечивающий расположение отверстия $\varnothing 10$ на окружности $\varnothing 70$) и подрезанный торец $\varnothing 100$ (обеспечивающий перпендикулярность отверстий относительно подрезанного торца $\varnothing 100$). Взаимное расположение отверстий под углом 90° обеспечивается соответствующим расположением направляющих втулок для сверл в приспособлении	Обеспечение точного расположения отверстий $\varnothing 10$ на окружности $\varnothing 70$, концентричной наружной поверхности буртика $\varnothing 46_{-0,065}$ и перпендикулярность их осей относительно подрезанного торца $\varnothing 100$; обеспечение взаимного расположения отверстий $\varnothing 10$ под углом 90°
Обтачивание $\varnothing 40,5$ под шлифование, подрезание торца, выдержав размер 130 от подрезанного торца $\varnothing 100$, и протачивание канавки $\varnothing 37 \times 2$, выдержав размер 101	Буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ (обеспечивающий концентричность расположения поверхности $\varnothing 40,5$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$) и подрезанный торец $\varnothing 100$ (обеспечивающий линейные размеры 130 и 101)	Обеспечение концентричности расположения $\varnothing 40,5$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$ и линейных размеров 130 и 101 от подрезанного торца $\varnothing 100$
Сверление двух отверстий $\varnothing 8$	Буртик $\varnothing 46_{-0,065}$ (обеспечивающий пересечение оси отверстий $\varnothing 8$ с осью детали), подрезанный торец $\varnothing 100$ (обеспечивающий размер 115 от оси отверстий $\varnothing 8$ до подрезанного торца $\varnothing 100$) и одно из отверстий $\varnothing 10$ (обеспечивающее расположение осей отверстий $\varnothing 8$ и $\varnothing 10$ в одной плоскости)	Оси отверстий $\varnothing 8$ должны пересекать ось детали и лежать в одной плоскости с осями отверстий $\varnothing 10$ на расстоянии 115 от подрезанного торца
Шлифование поверхности $\varnothing 40_{-0,065}$	Буртик $\varnothing 45_{-0,065}$ (обеспечивающий концентричность поверхности $\varnothing 40_{-0,05}$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$)	Обеспечение концентричности расположения поверхности $\varnothing 40_{-0,05}$ относительно буртика $\varnothing 46_{-0,065}$

Глава X
МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

§ 38. Контроль наружных и внутренних поверхностей тел вращения

Основными средствами контроля валов и отверстий являются к а л и б р ы. Измерительный контакт калибра может быть точечным (штихмасс, рис. 46, *а*), линейным (скоба, рис. 46, *б*) или поверхностным (пробка, рис. 46, *в*).

Измерительные части калибров для валов и отверстий изготовляют из цементуемых углеродистых сталей 15 и 20, инструментальных углеродистых сталей У10А и У12А, шарикоподшипниковой стали ШХ15 и инструментальных легированных сталей Х и ХГ с твердостью рабочих поверхностей HRC 56...64. Для повышения износостойкости измерительных частей калибров применяют хромирование, азотирование или наплавку из твердого сплава на рабочие поверхности калибров.

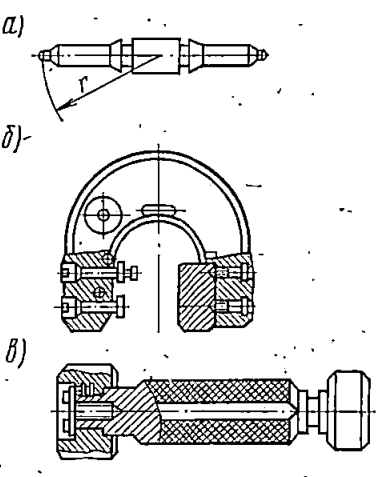


Рис. 46.

Для измерения валов диаметром свыше 500 мм применяют измерительные средства, оснащенные рычажно-чувствительными головками (индикаторные скобы); менее 1 мм — универсальные измерительные средства ввиду трудности изготовления и контроля калибров-скоб. Для контроля отверстий свыше 500 мм применяют жесткие полые штихмассы со сферическими наконечниками; менее 1 мм — с помощью пробки с цилиндрическими вставками, посаженными в ручку на канифоли или карбинольном клею. Отверстия малых размеров диаметром от 0,2 до 5 мм измеряют пневматическими приборами. Эти приборы не производят непосредственных замеров, а определяют диаметр отверстия по скорости истечения воздуха. Самые малые отверстия диаметром 0,2... 0,5 мм измеряют, пропуская через них воздух. В отверстия диаметром 0,5...3 мм вставляют аттестованные проволочки, уменьшающие проходное сечение отверстия и повышающие точность измерений. Для контроля отверстий диаметром свыше 5 мм применяют оптические устройства, а также нониусные и индикаторные нутромеры.

Измерение больших диаметров, как наружных, так и внутренних, для получения результатов высокой точности производят на специальных штриховых и концевых измерительных машинах. На штриховых машинах измерения производят путем сличения измеряемой длины контактным способом со штриховой шкалой, а также с концевыми мерами, а на концевых машинах — путем сличения

измеряемой длины с концевыми мерами. Измерительные машины используют в основном для аттестации образцовых штихмассов. Их изготовляют с пределами измерений 0...1000, 0...2000, 0...3000 и 0...6000 мм.

Детали больших диаметров измеряют переносными средствами: скобами, нутромерами, микрометрами и др., которые для удобства пользования и облегчения массы изготовляют из листовой стали сварными. Для измерения диаметров больших отверстий применяют также сборные конструкции нутрометров.

Так как при контроле больших размеров основное значение имеет температурная погрешность, то непосредственно перед замерами измерительный инструмент (скоба, нутромер и т. д.) устанавливают по концевой мере, температура которой соответствует температуре измеряемой детали. Желательно также, чтобы коэффициент линейного расширения меры был близок к коэффициенту линейного расширения измеряемой детали.

Скобы и нутромеры снабжены микрометрическими головками и индикаторами с ценой деления 0, 01 мм, что способствует уменьшению погрешности от деформации.

Валы диаметром до 1000 мм измеряют индикаторными скобами с ценой деления 0,01 мм, свыше 500 и 2000 мм — микрометрами с индикаторной головкой и установочной мерой. Иногда диаметры валов измеряют, обтягивая вал рулеткой, определяя при этом длину окружности. При диаметрах свыше 5000 мм для измерений применяют теодолит, установленный в какой-либо точке окружности детали, и определяют угол между концами мерной ленты определенной длины, обтягивающей часть окружности. Этот метод носит название «метода дуги».

§ 39. Контроль углов и конусов

Углы и конусы измеряют с помощью угловых мер, шаблонов, угольников, конусных калибров, шариков, синусных и тангенсных линеек, универсальных микроскопов (координатным методом), оптических делительных головок, угломеров с нониусом и др.

Наиболее распространенным методом является измерение углов и конусов угловыми мерами и угольниками. Угловые меры (плитки) комплектуются в наборы по 5, 19, 36 и 94 шт., из которых выбираются соответствующие плитки или блоки для измерения заданных углов (не менее 10°). Они представляют собой трех- или четырехгранные призмы с одним или четырьмя рабочими углами.

Измерение с помощью плиток основано на установлении величины наибольшего просвета между сторонами измеряемого угла и угловой меры или полного отсутствия просвета между ними. Просвет сравнивается на глаз с набором просветов, размеры которых известны (5...10 мкм), или же оценивается с помощью щупов (свыше 30 мкм).

По точности изготовления угловые плитки 1-го класса имеют допуск рабочего угла $\pm$ 10″, 2-го класса — $\pm$ 30″.

Для измерения прямых углов в зависимости от класса точности

и предельных размеров применяют угольники различных типов. Метод измерения, так же как и у плиток, основан на оценке величины просвета между измерительной и измеряемой поверхностями и протяженности касания этих поверхностей.

Углы у конических валов и втулок измеряют угломерами. Для повышения точности отсчета угломеры снабжены нониусами или же оптическими приспособлениями.

Для проверки угла конусности вала применяют конусные калибры-втулки (полные и неполные), а для проверки угла конусных втулок — конусные калибры-пробки. Для проверки угла конусности вала вдоль образующей конуса наносят карандашом прямую линию и осторожно вводят вал внутрь конусного калибра-втулки. Приложив некоторое осевое усилие для плотного прилегания конических поверхностей вала и втулки, поворачивают их относительно друг друга на небольшой угол. Если образующая конуса вала прямолинейна и угол конуса выполнен правильно, то графит карандаша равномерно распределится по всей длине конуса, в противном случае образуются только отдельные пятна. При проверке внутренней конической поверхности детали карандашную линию наносят на калибр-пробку.

§ 40. Контроль резьбы

Точность резьбы определяют точностью исполнения основных элементов резьбы болта и гайки: наружного диаметра, среднего диаметра, внутреннего диаметра, шага, угла профиля.

Контроль резьбы болта и гайки можно произвести комплексным методом по всем элементам одновременно или поэлементно с помощью калибров или специальных приспособлений. Для точных резьб (детали станков, приспособлений, приборов) и калибров обычно применяют поэлементную проверку резьбы на приборах.

Наиболее простым является контроль наружного диаметра болта и внутреннего диаметра гайки. Эти элементы резьбы измеряют г л а д к и м и с к о б а м и и п р о б к а м и, а также с помощью микрометра или штангенциркуля.

Измерение внутренних диаметров резьбы болта может быть произведено р е з ь б о в ы м м и к р о м е т р о м, который имеет устройство, сходное с устройством обыкновенного микрометра, только вместо обычных гладких наконечников он снабжен специальными вставками, с помощью которых можно измерить внутренний и средний диаметры болта. Резьбовые вставки делают сменными в зависимости от шага проверяемой резьбы. Для измерения внутреннего диаметра резьбы болта применяют две призматические вставки такой формы, чтобы вершины их касались впадин резьбы.

Для измерения среднего диаметра резьбы болта применяют вставки, которые касаются боковыми гранями боковых сторон профиля резьбы вблизи от среднего диаметра. Эти вставки выполняют с укороченным профилем. Вставки могут поворачиваться в опорах измерительных пяток и самоустанавливаться относительно наклонной части профиля резьбы.

Для резьбового микрометра с интервалом измерений от 0 до 25 мм проверка правильности начального отсчета производится непосредственным сведением обеих вставок до упора; при этом на шкале микрометра показание должно быть равным нулю. При пользовании резьбовым микрометром необходимо проверяемый болт установить между резьбовыми вставками и дальше производить измерение, как на обычном микрометре; нужно только следить, чтобы ось измерительных наконечников проходила через ось болта.

Резьбовым микрометром измеряют средний диаметр болта прямым методом, т. е. результаты измерений отсчитывают непосредственно по шкале прибора. Цена деления шкалы барабана резьбового микрометра 0,01 мм.

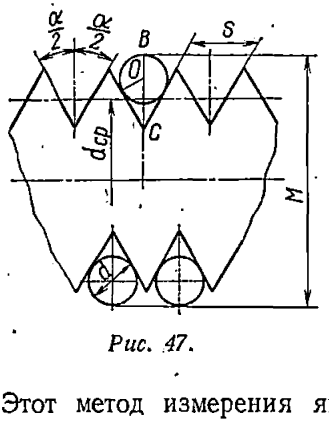


Рис. 47.

Кроме того, средний диаметр резьбы можно измерить методом трех проволочек. Этот метод заключается в том, что во впадины резьбы болта по обе его стороны закладывают три точные проволочки одинакового диаметра, затем микрометром с плоским наконечником определяют расстояние M между внешними поверхностями заложенных проволочек (рис. 47). Последующим расчетом по величине этого расстояния определяют значение среднего диаметра резьбы. Этот метод измерения является, таким образом, косвенным. Три проволочки применяют для того, чтобы предотвратить перекос измерительных наконечников микрометра.

Зная диаметр проволочек d, шаг резьбы S и расстояние между внешними поверхностями заложенных проволочек M, можно определить средний диаметр метрической резьбы $d_{ср}$ болта по следующей формуле:

$$d_{ср} = M - 3d + 0{,}866S.$$

Этот метод измерения дает более высокую точность, чем измерение посредством резьбового микрометра. Поэтому его применяют для измерения среднего диаметра калибров и других точных резьбовых деталей.

Шаг резьбы измеряют резьбовыми шаблонами, которые представляют собой наборы плоских стальных пластинок с вырезанным профилем резьбы разных шагов. При пользовании шаблоном совмещают профиль проверяемой резьбы (по образующей) с одной из пластинок шаблона. При правильном изготовлении шага совмещение профиля резьбы и шаблона не дает световой щели.

Для количественной оценки погрешностей шага резьбы применяют шагомеры (стационарные и накладные). Наибольшее распространение имеют накладные шагомеры, которые представляют собой рамку с двумя (или тремя) стержнями, оканчивающимися шаровыми наконечниками. Стержни соединяют с измерительным инструментом (миниметром), а шаровые наконечники вводят во впадины измеряемой резьбы. Если шагомер имеет три измерительных стержня, то

ось измерительного наконечника устанавливают в плоскости, нормальной к виткам резьбы, а при двух измерительных стержнях шагомер определяет шаг в осевой плоскости резьбы. Шагомер определяет одновременно размер суммы нескольких шагов. Для того чтобы найти значение одного шага резьбы, нужно размер по шагомеру разделить на число ниток между шаровыми наконечниками шагомера.

Если в качестве измерительного инструмента применяют миниметр или другой прибор для сравнительного метода измерений, то на шкале прибора будет отражена накопленная погрешность шага в пределах длины измерения. При делении накопленной погрешности на число ниток находят среднее отклонение шага резьбы; при этом прибор должен быть настроен по мерным плиткам на номинальное значение общей проверяемой длины.

§ 41. Контроль отклонений формы и расположения поверхностей

Для контроля отклонений формы от *плоскостности* и *прямолинейности* применяют поверочные линейки, поверочные и разметочные плиты и уровни.

Поверочные линейки бывают лекальные, с широкой рабочей поверхностью и угловые. Лекальные линейки обладают наиболее высокой точностью и имеют различное поперечное сечение с числом рабочих граней от 1 до 4 и длиной от 25 до 500 мм. Линейки с одной гранью служат для определения отклонений от прямолинейности на просвет. Отсутствие световой щели между деталью и линейкой показывает прямолинейность образующей, а наличие световой щели указывает на отступление от прямолинейности (при известном навыке можно оценить на глаз отступления от прямолинейности в 1...2 мкм).

Для проверки неплоскостности могут применяться лекальные линейки как с одной гранью, так и с тремя или четырьмя гранями. Линейка с одной гранью прикладывается к проверяемой плоскости в разных местах и в разных направлениях. Результат оценивается по величине световой щели.

С помощью трехгранных и четырехгранных линеек плоскость проверяют на краску. Для этой цели рабочие грани линеек покрывают тонким слоем специальной краски (синьки), затем линейкой водят по проверяемой плоскости, в результате чего краска с линейки переходит на проверяемую плоскость. Из-за отдельных неровностей плоскости она покрывается краской не сплошь, а пятнами различной плотности. Выступающие части плоскости покрываются краской, а во впадины краска попадает частично. Последующим шабрением выступов или шлифованием добиваются равномерного распределения краски по всей плоскости.

Линейки с широкой рабочей поверхностью применяют для проверки больших плоскостей или плоскостей с большими промежутками или выемками. Эти линейки могут достигать длины 6 м.

Для сохранения прямолинейности линейки должны быть достаточно жесткими, потому и приходится придавать им форму жестких балок и даже рам.

Угловые линейки применяют для проверки плоскостей, расположенных под некоторым углом относительно друг друга. Длина таких линеек с трехгранным или трапецеидальным сечением от 250 до 1000 мм. Для удобства пользования линейки имеют на торце рукоятки.

Поверочные плиты предназначены для проверки плоскостности поверхностей. Кроме того, их используют в качестве базовых поверхностей для установки на них миниметров, оптиметров, синусных линеек центровых бабок, призм и других измерительных приспособлений. Поверочные плиты изготовляют десяти размеров — от 100 × × 200 до 1000 × 1500 мм (для специальных целей допускается изготовление плит до 3200 × 5000 мм). По точности рабочей поверхность плиты подразделяют на 4 класса. Плиты 0, 1 и 2-го классов являются поверочными, а 3-го класса — разметочными. Рабочая поверхность плит, предназначенных для проверки на краску, должна быть пришабрена, а для более точных проверок притерта; разметочные плиты могут применяться со строганой поверхностью.

Уровни — это измерительные устройства, позволяющие определять положение той или иной плоскости относительно горизонта и измерять небольшие уклоны и углы. Уровень представляет собой запаянную стеклянную трубку — ампулу со шкалой, внутренняя поверхность которой имеет выпуклость с определенным радиусом кривизны. Трубка заполнена эфиром так, что только небольшой объем паров эфира занимает наивысшую точку в виде пузырька. Слесарный уровень имеет корпус с плоским нижним основанием, в котором помещена ампула.

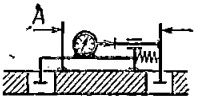
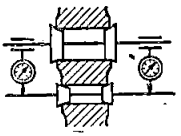
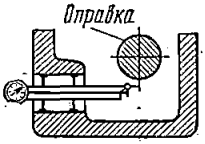
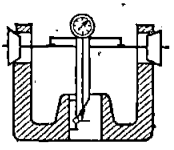
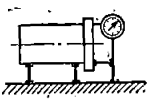
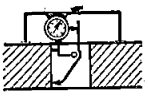
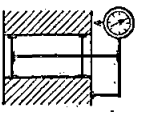
Для проверки положения вертикальных поверхностей применяют рамный уровень, у которого боковая грань перпендикулярна основанию с вмонтированной в него ампулой. Правильность положения основания уровня в поперечном направлении контролируется второй ампулой меньшей точности. При небольшом наклоне ампулы, а вместе с ней и всего уровня пузырек внутри уровня занимает наивысшую точку со смещением относительно шкалы.

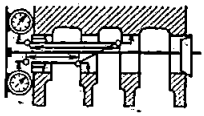
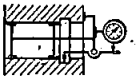
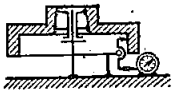
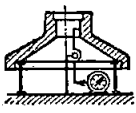
При интервале деления шкалы уровня, равном 2 мм, угол наклона уровня (цена деления) равен 2″, т. е. при этом угле наклона перемещение пузырька будет составлять одно деление шкалы, или 2 мм.

Для контроля отклонений от *круглости* (овальности и огранки) и *профиля продольного сечения* (конусообразности, бочкообразности, седлообразности и изогнутости) применяют в основном универсальный измерительный инструмент. Так, *овальность* детали (рис. 48, *а*) измеряется индикатором на обычной стойке или с помощью скобы; при этом деталь поворачивается на один-два оборота, после чего вычисляется разница между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора.

При контроле *огранки* (рис. 48, *б*) базой измерения является призма с углом 90°, которая при наиболее часто встречающихся огранках (с тремя и пятью гранями) дает удвоенное значение величины огранки.

Таблица 11. **Методы измерений и схемы приспособлений для контроля расположения поверхностей**

Виды измерений	Область применения	Схема приспособления для контроля	Краткое описание
Контроль межосевых расстояний	Для неглубоких отверстий		Межосевое расстояние определяется как полусумма двух отсчетов: при касании измерительных наконечников к наиболее удаленным образующим и при касании их к наименее удаленным образующим отверстий (нажать по стрелкам *A*)
	Для глубоких отверстий		Оправки фиксируются посредством конических или ступенчатых втулок. Настраивается приспособление по установочной мере
	Для перекрещивающихся отверстий		Настраивается по установочной мере
Контроль перпендикулярности цилиндрических поверхностей или цилиндрической поверхности торцу	Для контроля перпендикулярности осей двух отверстий		Приспособление базируется по оправке, закрепленной посредством конических втулок в одном из отверстий. Настраивается по установочной мере
	Для контроля биения торца относительно цилиндрической поверхности		Контролируемая деталь базируется по цилиндрической поверхности
	Для контроля перпендикулярности цилиндрической поверхности торцу		Контролируемая деталь базируется по торцу и проворачивается под измерительным наконечником
	Для контроля перпендикулярности оси отверстия торцу		Приспособление базируется по торцу и проворачивается вокруг оси отверстия с прижатием вертикального упора к поверхности отверстия

Виды измерений	Область применения	Схема приспособления для контроля	Краткое описание
Контроль соосности отверстий	Для контроля соосности нескольких отверстий одинакового диаметра		Базируется на двух крайних отверстиях посредством конических или ступенчатых втулок
	Для контроля радиального биения проточки в отверстии		Базируется по отверстию и торцу детали
Контроль соосности отверстий	Для контроля радиального биения цилиндрической расточки относительно конического отверстия		База — коническое отверстие
	Для контроля соосности двух отверстий разного диаметра		База — цилиндрическая и торцевая поверхности большего отверстия

Бочкообразность (рис. 48, *в*), *седлообразность* (рис. 48, *г*) и *изогнутость* (рис. 48, *д*) проверяют измерением детали в трех сечениях вдоль оси.

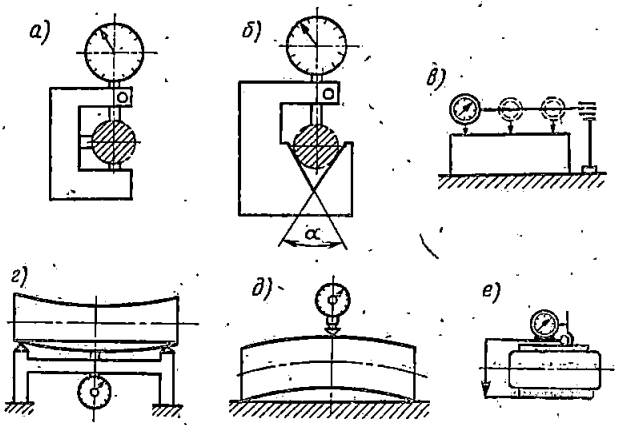


Рис. 48.

Контроль конусообразности (рис. 48, *е*) осуществляют обычными средствами, измеряя диаметры в двух сечениях, расположенных на концах детали на определенном расстоянии друг от друга.

При контроле расположения поверхностей основными видами измерений являются: контроль расстояний между

осями отверстия, контроль перпендикулярности осей отверстий и плоскостей, контроль перпендикулярности цилиндрических поверхностей или цилиндрической поверхности торцу и контроль соосности цилиндрических поверхностей.

В единичном и мелкосерийном производстве основным средством измерений взаимного расположения поверхностей является универсальный измерительный инструмент. В крупносерийном и массовом производстве применяют специальные устройства со шкальными приборами. Основными средствами измерений расстояний между осями отверстий являются калибры-пробки и калибры-скобы.

Контроль перпендикулярности осей отверстий и плоскостей производят с помощью угольников, а контроль взаимной перпендикулярности осей двух отверстий или перпендикулярности оси отверстия торцу — специальными калибрами-шаблонами.

Контроль соосности отверстий обычно осуществляют жесткими скалками, а при разности диаметров — ступенчатыми скалками. В табл. 11 приведены методы измерений и схемы приспособлений для контроля расположения поверхностей.

§ 42. Методы и средства измерения зубчатых колес

Измерение зубчатых колес по всем приведенным в ГОСТе параметрам является необязательным. ГОСТом установлены взаимно заменяющиеся комплексы достаточного наименьшего количества элементов зубчатого колеса, подлежащих выборочному, постоянному или периодическому контролю. Кроме того, оговорено, что каждый установленный комплекс показателей точности, используемый при контроле зубчатых колес и передач, является равноправным. Контролю подвергают только некоторые элементы, важные с точки зрения эксплуатации зубчатого колеса, или же элементы, точность изготовления которых вызывает сомнение. Таким образом, измерение зубчатых колес производят, чтобы: 1) обеспечить эксплуатационные требования, предъявляемые со стороны потребителя, и 2) проверить правильность процесса изготовления зубчатых колес (правильная настройка станка, заточка инструмента, правильная установка заготовки на станке и др.). В первом случае производится окончательный контроль (готовых зубчатых колес), при котором выявляют эксплуатационные показатели: кинематическую точность, плавность работы, контакт боковых поверхностей зубьев колес, шумовые явления *, сопровождающие процесс работы колес.

Средства измерения должны быть несложными и производительными; этому требованию отвечает комплексный однопрофильный контроль. При окончательном контроле рекомендуется совмещать измерительную базу с технологической, т. е. принимать в качестве измерительной базы посадочное отверстие зубчатого колеса.

* Исследованиями, проведенными автором, установлена на основе корреляционного анализа взаимосвязь между отдельными показателями точности и уровнем шума; при этом отклонения показателей плавности и контакта оказывают большее влияние на уровень шума, чем показатели кинематической точности.

Во втором случае осуществляют технологический контроль, при котором поэлементно оценивают качество изготовления зубчатого колеса. Комплекс элементов, подлежащих измерению, следует выбирать так, чтобы можно было выявить технологические погрешности, допущенные при изготовлении зубчатых колес. Технологический контроль следует вести после каждой переналадки станка, перетачивания и смены режущего инструмента.

Чаще всего в зубчатом колесе подвергают проверке следующие элементы: толщину зуба по делительной окружности; основной и делительной шаги зубчатого колеса; профиль зуба — эвольвенту. При выборе средств и методов измерения следует исходить из предельной погрешности, которая может быть допущена при измерении и не должна превышать 20% от величины допуска.

В табл. 12 приведены рекомендации по применению зубомерных приборов в зависимости от степени точности зубчатых колес и проверяемых элементов.

Таблица 12. **Выбор зубомерных приборов в зависимости от степени точности зубчатых колес и проверяемых элементов**

Наименование приборов	Проверяемый элемент	Степень точности зубчатых колес
Кромочный зубомер	Толщина зуба по постоянной хорде	9...11
Тангенциальный зубомер	Смещение исходного контура	5...10
Нормалемер до 150 мм	Длина общей нормали	7...11
Нормалемер до 300 мм	То же	8...11
Зубомерный микрометр	»	8...11
Шагомер для окружного шага	Окружной шаг	7...11
Шагомер для основного шага колес с $m=2...10$ мм	Основной шаг	7...11
То же, для колес с $m=8...20$ мм	То же	7...11
Биениемер	Биение зубчатого венца	8...11
Межцентромер (при установке по концевым мерам)	Отклонение измерительного межцентрового расстояния	7...11
То же, при установке по шкалам	Отклонение измерительного межцентрового расстояния	9...11
Универсальный эвольвентомер с постоянным диском	Профиль на участках эвольвенты	3...6
Универсальный зубомерный прибор	Основной шаг Равномерность основного шага Длина общей нормали Равномерность толщины зуба Равномерность окружного шага Биение зубчатого венца	3...6

Наряду с перечисленными измерительными инструментами в промышленности применяют *универсальные зубомерные приборы* (типа МИЗ), которые позволяют проверять показатель кинематической точности зубчатого колеса, т. е. накопленную погрешность окружного шага, радиальное биение зубчатого венца, колебание длины

общей нормали а также параметры, характеризующие плавность работы колеса (предельные отклонения основного шага, точность окружных шагов) и контакт зубьев в передаче (угол наклона зуба).

Для измерения всех этих параметров к универсальному зубомеру прилагаются различные измерительные приспособления, которые крепятся к каретке прибора в зависимости от измеряемого элемента колеса.

Конические и червячные колеса измеряют теми же методами и на таких же приборах, что и цилиндрические колеса. Но чаще всего червячные колеса проверяют на правильность зацепления с эталонными червяками.

У *червячных винтов* (червяков) проверяют средний диаметр, угол профиля винта и шаг винтовой линии. Средний диаметр червяка проверяют методом трех роликов аналогично проверке обычных резьб методом трех проволочек.

§ 43. Механизация и автоматизация контроля

С развитием автоматизации технологических процессов обработки функции контроля приобретают особое значение, содействуя не только предотвращению появления брака, но и улучшению качества продукции и ее единообразию. Средства механизированного и автоматического контроля подразделяют на средства контроля готовых деталей, средства технологического контроля заготовок при обработке и средства статистического контроля.

К средствам контроля готовых деталей после их обработки относятся: 1) *контрольно-сортировочные автоматы* — устройства, автоматически выполняющие все элементы процесса контроля: ориентирование деталей относительно измерительного устройства; поштучную подачу деталей в измерительное устройство; непосредственный контроль; вывод деталей из измерительного устройства; сортировку деталей в соответствии с результатами контроля на одну или несколько групп годных деталей, брак исправимый и брак неисправимый; 2) *контрольно-сортировочные полуавтоматы*, выполняющие автоматически только четыре последних элемента контроля (первый — вручную); 3) *контрольно-измерительные приспособления* — устройства, в которых автоматизирована или механизирована меньшая часть элементов контроля по сравнению с полуавтоматами.

Средства технологического контроля, непосредственно связанные с процессом обработки заготовок, включают следующие устройства: 1) *приборы для контроля в процессе обработки*, устанавливаемые на станках; по достижении заданного размера обрабатываемой заготовки эти приборы подают командный импульс для прекращения обработки; 2) *подналадчики* — приборы, контролирующие размеры заготовки при обработке; если вследствие износа обрабатывающего инструмента размеры заготовок начнут приближаться к предельным, приборы подают командный импульс для автоматического корректирования наладки станка; 3) *блокировочные и защитные устройства*, подающие командный импульс для прекра-

щения автоматической передачи заготовок на следующую технологическую операцию в случае их неудовлетворительной обработки на данной операции (вследствие нарушения настройки станка, износа или поломки обрабатывающего инструмента).

Средства статистического контроля — особая группа контрольно-измерительных средств, использование которых связано со специальной организацией процесса контроля. Они могут применяться как для технологического контроля, так и для контроля готовых деталей (приемочного контроля). В первом случае они позволяют организовать контроль и наладку процесса изготовления деталей, а во втором — осуществить рациональный выборочный контроль для приемки готовых деталей.

Статистические устройства «статистролы» могут управлять процессами производства в сочетании с блокирующими устройствами, подналадчиками и т. п.

Применение различных автоматизированных и механизированных контрольно-измерительных средств в зависимости от назначения приведено в табл. 13.

Таблица 13. **Применение механизированных и автоматизированных средств контроля в зависимости от назначения**

Наименование механизмов	Области применения
Контрольно-сортировочные автоматы	Для деталей простой геометрической формы в условиях крупносерийного и массового производства, когда необходим 100-процентный контроль или когда годные детали сортируются на несколько групп (для селективной сборки)
Контрольно-сортировочные полуавтоматы	Для тех же случаев, но для деталей более сложной формы
Контрольно-измерительные приспособления	Во всех видах производства, кроме единичного, для сплошного или выборочного контроля деталей и контроля наладки станков
Приборы для контроля в процессе обработки	В условиях серийного и массового производства для контроля медленно и плавно изменяющихся величин (например, диаметров деталей, обрабатываемых на шлифовальных станках)
Подналадчики	Для тех же условий, что и приборы для контроля в процессе обработки, но с производством корректировки наладки станка
Блокировочные и защитные устройства	На автоматических поточных линиях в промежутках между операциями обработки
Средства статистического контроля	Во всех видах производства, кроме единичного

Автоматизация контроля обеспечивает возможность непрерывного наблюдения за ходом процесса обработки. При активном контроле по результатам измерения производится управление процессом обработки. В случае автоматического управления процессом измерительные устройства воздействуют на приводные элементы механизмов размерной подачи станков.

ГОСТ 3 1502-74 Форма 2

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Номер цеха	Номер участка	Номер опер.	Операционная карта технического контроля

Наименование операции	Наименование, марка материала	ГОСТ, ТУ	Наименование оборудования

Номер перехода	Содержание перехода	Приспособление (код, наименование)	Измерительный инструмент (код, наименование)	Процент контроля	Особые указания

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Разраб.	Проверил	Нормир.	Утверд.	Н. контр.	Лист	Листов

Рис. 49.

По воздействию на процесс обработки системы активного контроля подразделяют на: 1) системы автоматического управления процессом по результатам измерений во время обработки детали; 2) системы автоматического регулирования по результатам измерения размера после обработки; 3) системы автоматического регулирования по результатам измерения заготовок, поступающих на обработку; 4) комбинированные системы.

Комбинированные системы представляют собой сочетание элементов приведенных в табл. 13 систем. Например, одно устройство проверяет заготовку до обработки, другое — по результатам измерений в процессе обработки устанавливает режимы резания.

Средства активного контроля размеров подразделяются на блокирующие устройства, устройства для управления циклом и подналадочные системы.

Блокирующие устройства применяют для предотвращения аварий при нарушении технологического процесса путем прекращения процесса обработки или подачи соответствующего сигнала.

Устройства для управления циклом обработки по результатам измерений изменяют режим резания и прекращают подачу инструмента. Эти устройства связаны с рабочими органами станка.

Подналадочные системы при получении информации о ходе процесса обработки вносят изменения в наладку станка. Эти системы не реагируют на случайные отклонения размеров обрабатываемой детали.

Единой системой технологической документации (ЕСТД) предусмотрены правила оформления технологических документов на процессы технического контроля, в том числе операционной карты и ведомости операций технического контроля, входящих в состав комплекта технологической документации по видам работ. На рис. 49. приводится операционная карта технического контроля.

Раздел второй
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Глава XI
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИСПОСОБЛЕНИЯХ

§ 44. Виды приспособлений

В машиностроении широко применяется разнообразная технологическая оснастка, под которой принято понимать приспособления, вспомогательный, режущий и измерительный инструмент.

Приспособлениями называются дополнительные устройства, используемые для механической обработки, сборки и контроля деталей, сборочных единиц и изделий. По назначению приспособления подразделяют на следующие виды:

1. Станочные приспособления, применяемые для установки и закрепления на станках обрабатываемых заготовок. В зависимости от вида механической обработки эти приспособления подразделяют на приспособления для сверлильных, фрезерных, расточных, токарных, шлифовальных станков и др. Станочные приспособления составляют 80...90% в общем парке технологической оснастки. Применение их обеспечивает: а) повышение производительности труда за счет сокращения времени на установку и закрепление заготовок, при частичном или полном перекрытии вспомогательного времени машинным и при уменьшении последнего посредством многоместной обработки, совмещения технологических переходов и повышения режимов резания; б) повышение точности обработки благодаря устранению выверки при установке и связанных с ней погрешностей; в) облегчение условий станочников; г) расширение технологических возможностей оборудования; д) повышение безопасности работы.

2. Приспособления для установки и закрепления рабочего инструмента, осуществляющие связь между инструментом и станком, в то время как первый вид осуществляет связь заготовки со станком. С помощью приспособлений первого и второго видов выполняют наладку технологической системы СПИД.

3. Сборочные приспособления для соединения сопрягаемых деталей в сборочные единицы и изделия. Их применяют для: крепления базовых деталей или сборочных единиц собираемого изделия; обеспечения правильной установки соединяемых элементов изделия; предварительной сборки упругих элементов (пружин, разрезных колец и др.), а также для выполнения соединений с натягом.

4. Контрольные приспособления, применяемые для промежуточного и окончательного контроля деталей в процессе механической обработки, а также для контроля собранных частей машин.

5. Приспособления для захвата, перемещения и перевертывания обрабатываемых заготовок и сборочных единиц, используемые при обработке и сборке тяжелоемких деталей и изделий.

По эксплуатационной характеристике станочные приспособления подразделяются на универсальные, предназначенные для обработки разнообразных заготовок (машинные тиски, патроны, делительные головки, поворотные столы и пр.); специализированные, предназначенные для обработки определенных заготовок путем использования дополнительных или сменных устройств (специальных губок для тисков, фасонных кулачков к патронам и т. п.), и специальные, предназначенные для выполнения определенных операций механической обработки данной детали. Универсальные приспособления применяют в условиях единичного или мелкосерийного производства, а специализированные и специальные — в условиях крупносерийного и массового производства.

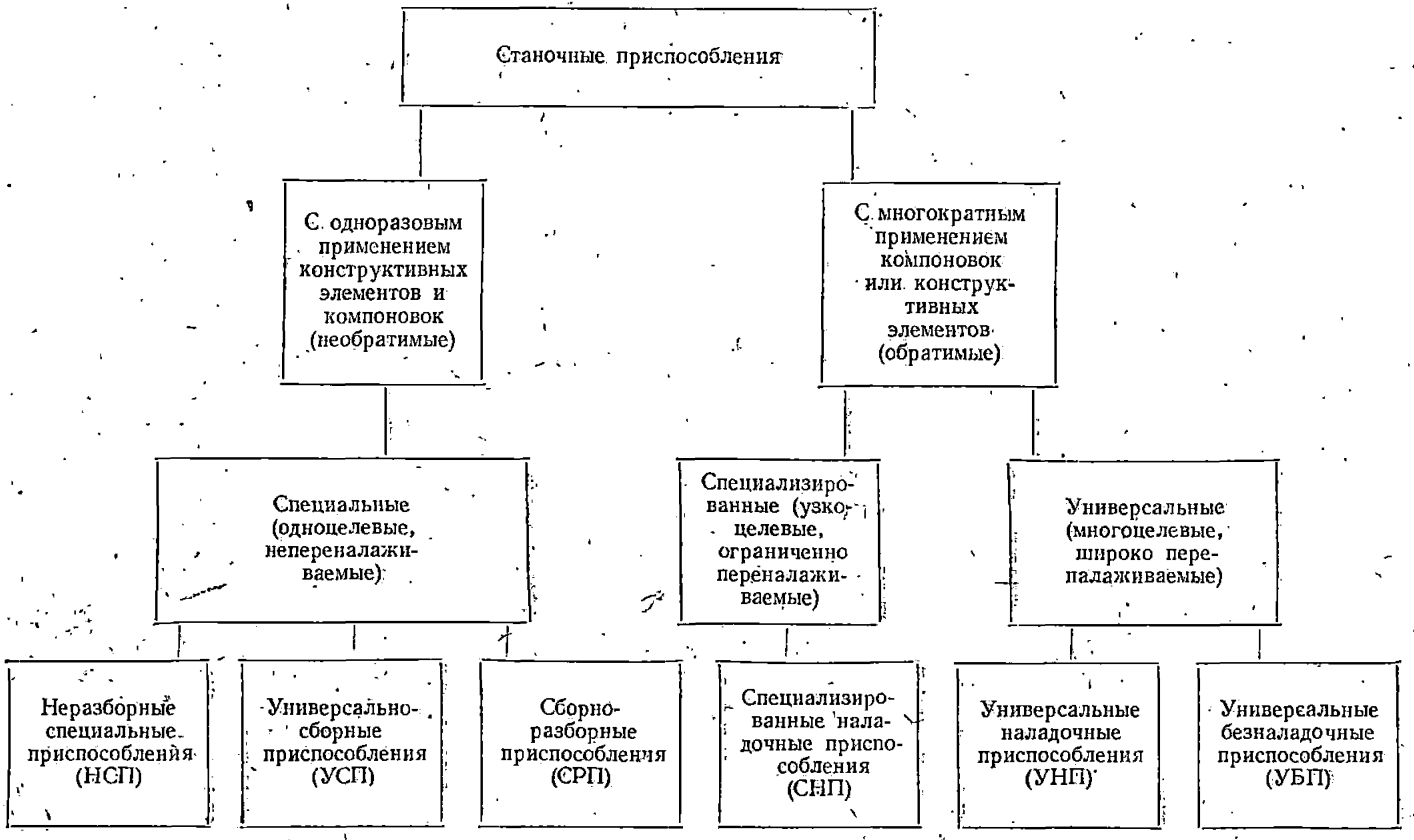
Единой системой технологической подготовки производства (ЕСТПП) станочные приспособления классифицируются по определенным признакам, приведенным на схеме 2, и подразделяются на: универсально-сборные приспособления (УСП); сборно-разборные приспособления (СРП); универсальные безналадочные приспособления (УБП); неразборные специальные приспособления (НСП); универсальные наладочные приспособления (УНП); специализированные наладочные приспособления (СНП); кроме того, имеется специальная группа агрегатных средств механизации зажима (АСМЗ).

Универсально-сборочные приспособления (УСП) компонуются из заранее изготовленных стандартных элементов деталей и сборочных единиц высокой точности (1-й и 2-й классы). Они используются в качестве специальных приспособлений краткосрочного действия для определенной операции, после выполнения которой разбираются на составляющие элементы, которые в дальнейшем многократно используются в новых компоновках и сочетаниях. Дальнейшее развитие УСП связано с созданием агрегатов, блоков, отдельных специальных деталей и сборочных единиц, обеспечивающих компоновку не только специальных, но и специализированных и универсально-наладочных приспособлений краткосрочного действия.

Сборно-разборные приспособления (СРП) компонуются также из стандартных элементов, но менее точных, допускающих местную доработку по посадочным местам. Эти приспособления используются как специальные приспособления долгосрочного действия с последующей разборкой и использованием обратимых элементов в новых компоновках.

Неразборные специальные приспособления (НСП) компонуются из стандартных деталей и сборочных единиц общего назначения, как необратимые приспособления долго-

Схема 2


Станочные приспособления
С одноразовым применением конструктивных элементов и компоновок (необратимые)
С многократным применением компоновок или конструктивных элементов (обратимые)
Специальные (одноцелевые, непереналадживаемые)
Специализированные (узкоцелевые, ограниченно переналаживаемые)
Универсальные (многоцелевые, широко переналаживаемые)
Неразборные специальные приспособления (НСП)
Универсально-сборные приспособления (УСП)
Сборно-разборные приспособления (СРП)
Специализированные наладочные приспособления (СНП)
Универсальные наладочные приспособления (УНП)
Универсальные безналадочные приспособления (УБП)

срочного действия. Конструктивные элементы компоновок, входящие в состав системы, как правило, эксплуатируются до полного износа и не применяются повторно. Компоновка может производиться еще путем построения приспособления из двух основных частей: унифицированной базовой части (УБ) и сменной наладки (СН). Такая конструкция НСП делает его устойчивым к изменениям в конструкциях обрабатываемых заготовок и к корректировкам технологических процессов. В этих случаях в приспособлении заменяют только сменную наладку (СН).

Универсальные безналадочные приспособления общего назначения (УБП) наиболее распространены в условиях серийного производства. Применяются в основном для закрепления заготовок из профильного проката и штучных заготовок. По схеме агрегатирования УБП представляет собой универсальный регулируемый корпус с постоянными (несъемными) базовыми элементами. Он входит в комплект станка при его поставке для эксплуатации (патроны, тиски и т. п.).

Специализированные наладочные приспособления (СНП) обеспечивают оснащение операции при обработке деталей, сгруппированных по конструкторским признакам и схемам базирования; компоновка по схеме агрегатирования представляет собой базовую конструкцию корпуса со сменными наладками для групп деталей.

Универсальные наладочные приспособления (УНП), так же как и СНП, имеют постоянные (корпус) и сменные части. Однако сменная часть пригодна только для выполнения одной детале-операции. При переходе с одной операции на другую приспособления системы УНП оснащаются новыми сменными частями (наладками).

Агрегатные средства механизации зажима (АСМЗ) представляют собой комплекс универсальных силовых устройств, выполненных в виде обособленных агрегатов, позволяющих в сочетании с приспособлениями, механизировать и автоматизировать процесс зажима обрабатываемых деталей.

Выбор конструкции приспособления во многом зависит от характера производства. Так, в серийном производстве применяют сравнительно простые приспособления, предназначенные в основном для достижения заданной точности обработки заготовки. В массовом производстве к приспособлениям помимо требования обеспечения заданной точности предъявляют высокие требования в отношении производительности. Поэтому такие приспособления, снабжаемые быстродействующими зажимами, представляют собой более сложные конструкции. В массовом производстве применение даже самых дорогих приспособлений может быть экономически вполне оправдано.

§ 45. Основные элементы приспособлений

Основными элементами приспособлений являются:

установочные для определения положения обрабатываемой поверхности заготовки относительно режущего инструмента;

зажимные для закрепления обрабатываемой заготовки;

направляющие для придания требуемого направления движению режущего инструмента относительно обрабатываемой поверхности;

корпуса приспособлений — основная часть, на которой размещены все элементы приспособлений;

крепежные для соединения отдельных элементов между собой;

делительные, или поворотные, для точного изменения положения обрабатываемой поверхности заготовки относительно режущего инструмента;

механизированные приводы для зажима обрабатываемой заготовки. В некоторых приспособлениях установку и зажим обрабатываемой заготовки выполняют одним механизмом, называемым установочно-зажимным.

Глава XII
УСТАНОВОЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

§ 46. Основные правила установки заготовок

Обработка резанием осуществляется при движении обрабатываемой заготовки и режущего инструмента. Чтобы обеспечить заданную точность, обрабатываемая заготовка должна быть установлена в определенном положении относительно режущего инструмента. После установки обрабатываемую заготовку закрепляют, что предотвращает ее смещение под действием сил, возникающих в процессе обработки.

В индивидуальном и мелкосерийном производстве заготовки устанавливают с выверкой по черновым или обработанным поверхностям, а также по разметке. В массовом и крупносерийном производстве выверку не производят, а обрабатываемые заготовки устанавливают, доводя их базовые поверхности до соприкосновения с установочными элементами (опорами) приспособлений. В этом случае значительно ускоряется установка обрабатываемых заготовок, обеспечивается постоянство положения их установочных базовых поверхностей в приспособлении.

В зависимости от условий обработки может потребоваться полная или частичная ориентация обрабатываемой заготовки в пространстве относительно режущего инструмента. При полной ориентации обрабатываемой заготовке придают вполне определенное и единственно возможное положение в приспособлении. При частичной ориентации не обязательна точная установка в определенных направлениях и даже допустимо произвольное положение (поворот) заготовки относительно какой-либо оси. В этом случае установочная схема, а также конструкция приспособления в целом упрощаются.

При полной ориентации базовые поверхности обрабатываемой заготовки плотно прилегают к установочным элементам приспособления. Для этого должны соблюдаться условия неотрывности баз от опор, а обрабатываемая заготовка не должна иметь сдвига и враще-

ния относительно трех координатных осей. При выполнении условий неотрывности обрабатываемая заготовка лишается всех степеней свободы и положение ее базовых поверхностей в пространстве является определенным. Количество опор, на которые устанавливают обрабатываемую заготовку, должно быть равным шести (правило

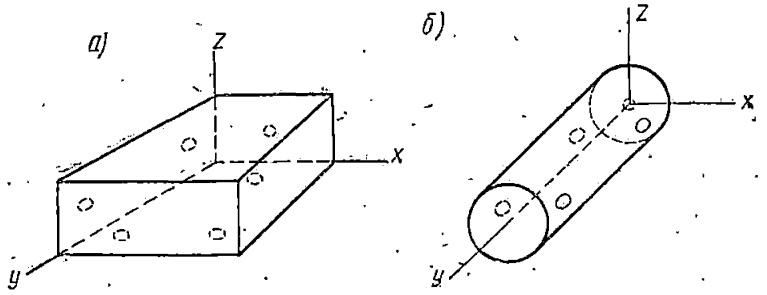


Рис. 50.

шести точек); их взаимное расположение обеспечивает устойчивость установки обрабатываемой заготовки в приспособлении. Расстояние между опорами принимают возможно большим, чтобы под действием силы тяжести не возникло опрокидывающего момента.

На рис. 50, *а* приведена схема полной ориентации установки на шесть точек. Из схемы видно, что при условии плотного контакта (неотрывности) опор с базами заготовок последние получают ориентированное и определенное положение относительно трех координатных осей. На рис. 50, *б* приведена схема частичной ориентации обрабатываемой заготовки, где гладкую цилиндрическую заготовку устанавливают на четыре точки (установка в призму) с упором ее торцевой плоскости в пятую опору (точку). При установке по этой схеме угловое положение обрабатываемой заготовки относительно оси *y* может изменяться. Так, при сверлении осевого отверстия или фрезеровании паза вдоль образующей ориентация углового положения обрабатываемой заготовки не нужна и надобность в шестой точке отпадает.

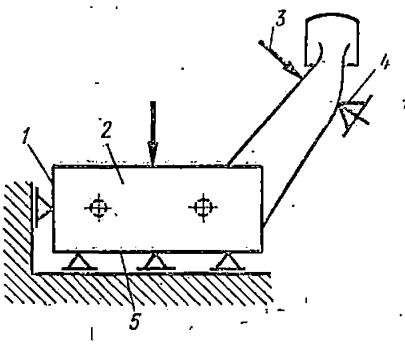


Рис. 51.

При обработке нежестких заготовок или в случае недостаточной их устойчивости ввиду небольшой протяженности базовых поверхностей может возникнуть необходимость увеличения количества опорных точек (сверх шести). На рис. 51 приведена схема установки прямоугольной заготовки с длинным нежестким кронштейном, у которого обрабатывается торец. Из схемы видно, что помимо основных шести опор, на которые заготовку устанавливают базовыми

поверхностями *1*, *2* и *5*, применена *дополнительная подводимая* опора *4*, к которой заготовку прижимают зажимные устройства *3*.

Дополнительные опоры делают регулируемыми или самоустанавливающимися. При установке обрабатываемой заготовки они подводятся к ее поверхности или занимают надлежащее положение, а затем закрепляются и превращаются на время выполнения данной операции в жесткие опоры.

Точечные опоры приспособлений характеризуются установочными элементами с ограниченной поверхностью контакта. К ним относятся постоянные опоры, узкие призмы для установки цилиндрических заготовок и др. Эти опоры обеспечивают постоянную для всех заготовок данной партии устойчивость установки независимо от погрешностей их размеров и форм. Недостатками установки на точечные опоры являются повреждения базовых поверхностей заготовок при больших силах прижатия, а также смещение обрабатываемой заготовки из-за деформаций в местах контакта опор с базами.

Обрабатываемую заготовку устанавливают также по охватывающим или охватываемым базовым поверхностям. В этом случае заготовку надевают или вставляют в установочный элемент с некоторым зазором. И, наконец, для лишения заготовки всех степеней свободы применяют также комбинированные способы, например установку: а) на два базовых отверстия и плоскость, перпендикулярную их осям; б) на палец и две плоскости; в) на отверстие, плоскость и опору для угловой фиксации; г) на наружную цилиндрическую поверхность, торец и угловую опору.

В тех случаях, когда базой служит сама обрабатываемая поверхность заготовки, применяют съемные (сдвигаемые) установочные элементы.

Таким образом, установочные элементы приспособлений должны удовлетворять следующим основным требованиям: 1) количество и расположение установочных элементов должно обеспечивать необходимую ориентацию и устойчивость обрабатываемой заготовки по принятой в технологическом процессе схеме базирования; 2) при использовании черновых баз с шероховатостью поверхности до 3-го класса установочные элементы следует выполнять с ограниченной опорной поверхностью в целях уменьшения влияния погрешностей и неровностей этих баз на устойчивость установки; 3) установочные элементы (как основные, так и дополнительные) должны быть жесткими и износостойкими, но не должны портить базовых поверхностей, что особенно важно при установке на точные и чистовые базы, не подвергаемые дальнейшей обработке; 4) для упрощения ремонта приспособления установочные элементы нужно выполнять легкосменными.

§ 47. Виды установочных элементов приспособлений

Для установки на черновые базы применяют постоянные (рис. 52, *а*) и регулируемые опоры. Установку на чисто обработанные базы осуществляют с помощью опорных пластинок (рис. 52, *б*) и штырей с плоской и рифленой головками.

Размеры опор, показанных на рис. 52, следующие: $D = 6...40$ мм; $d = 4...25$ мм; $H = 10...76$ мм; $h = 4...40$ мм; $R = 4...40$ мм; $L = 60...220$ мм; $B = 16...35$ мм; $h_1 = 10...25$ мм.

На рис. 53, *а* приведена конструкция подводимой опоры. Подъем опоры *2* до соприкосновения с базовой поверхностью заготовки производится посредством клина *1* осевым перемещением вин-

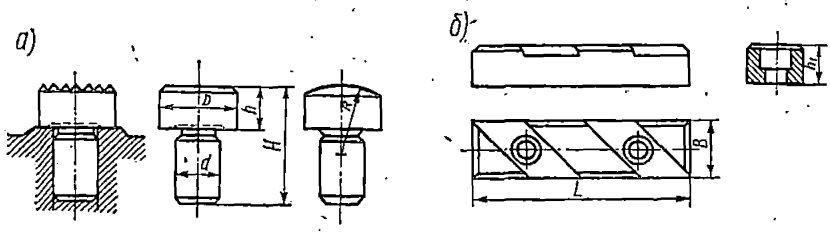


Рис. 52.

та *5* с маховичком *6*. Опору фиксируют затяжкой винта, при этом шарик *4* расклинивает сегментные шпонки *3* и стопорит горизонтальный клин.

На рис. 53, *б* показана конструкция самоустанавливающейся опоры. Вертикальный штифт *1*, находясь под воздействием предварительно сжатой пружины *4*, выдвигается вверх до соприкосновения с поверхностью заготовки. Размеры пружины и степень ее предварительного сжатия подбирают так, чтобы при подъ-

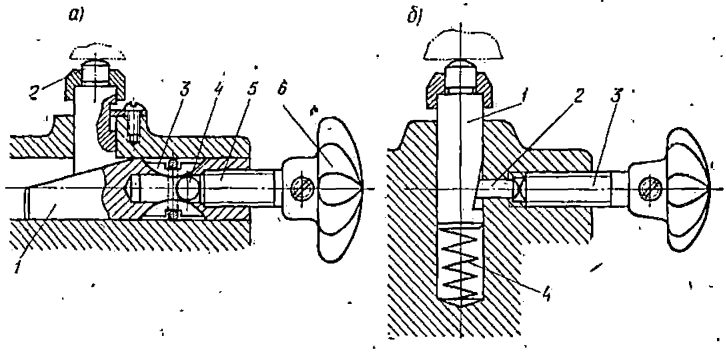


Рис. 53.

еме штифта заготовка не смещалась. Затяжкой винта *3* обеспечивают фиксацию опоры в определенном положении. Промежуточный сухарь *2* ограничивает выдвижение вверх при отвертывании винта.

По наружным цилиндрическим поверхностям заготовки устанавливают в призмы. Для чисто обработанных баз применяют широкие призмы (рис. 54, *а*), для черновых — узкие (рис. 54, *б*); на рис. 54, *в* показан способ установки заготовки *2* на четыре постоянные опоры *3*, запрессованные в боковые поверхности призмы *1*. В приспособлениях применяют главным образом жесткие призмы с углом $\alpha = 90°$.

Призмы выполняют из стали марки 45 или из цементуемых сталей 08...20 с закалкой боковых поверхностей до твердости HRC 50...60. Призмы больших размеров делают из серого чугуна с привернутыми закаленными щеками. Погрешности базирования при установке в призму зависят от допуска на диаметр цилиндрической поверхности заготовки, а также от погрешностей ее формы.

Установку заготовок с базированием по отверстиям производят на пальцы или оправки. Упорной базой служит торцевая поверхность заготовки, определяющая ее положение по длине, и

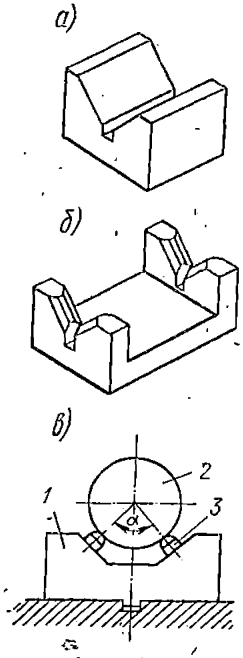


Рис. 54.

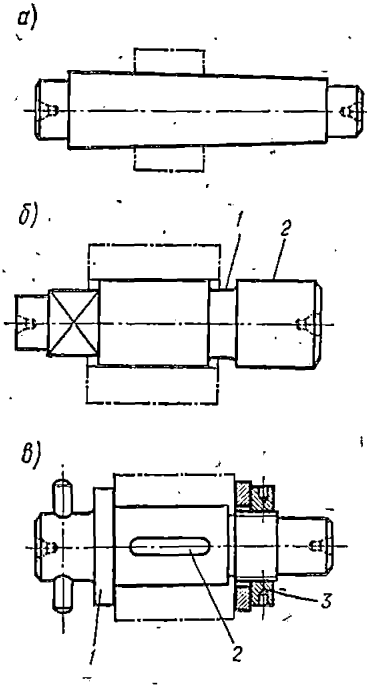


Рис. 55.

различные элементы (шпоночная канавка, отверстие и др.), определяющие угловое положение обрабатываемой заготовки относительно оси основной базы.

Примеры жестких оправок показаны на рис. 55. На рис. 55, *а* показана коническая оправка (конусность $^1/_{1500}...^1/_{2000}$), на которую обрабатываемую заготовку наколачивают легкими ударами. Благодаря расклинивающему действию оправки заготовка удерживается от провертывания при обработке. Недостаток этой оправки — отсутствие точной ориентации заготовки по длине.

На рис. 55, *б* показана конструкция оправки, на которую обрабатываемую заготовку насаживают с натягом. Используя при запрессовке упорные кольца (на рисунке не показаны), точно ориентируют заготовку по длине оправки. При наличии кольцевой вытяжки *1*

можно подрезать оба торца заготовки. Шейка *2* — направляющая, ее диаметр обеспечивает свободное надевание заготовки вручную.

На рис. 55, *в* показана оправка, на которую заготовку насаживают с зазором. Положение заготовки по длине определяется буртом *1* оправки, ее провертывание предупреждается затяжкой гайки *3* или шпонкой *2* (если в заготовке имеется шпоночная канавка). При использовании этих оправок базовые отверстия заготовок рекомендуется обрабатывать по 2-му классу точности.

Оправки рекомендуется выполнять из стали, термически обрабатывать (закалка или цементация с последующей закалкой) и тщательно шлифовать (класс шероховатости поверхности рабочей части не ниже

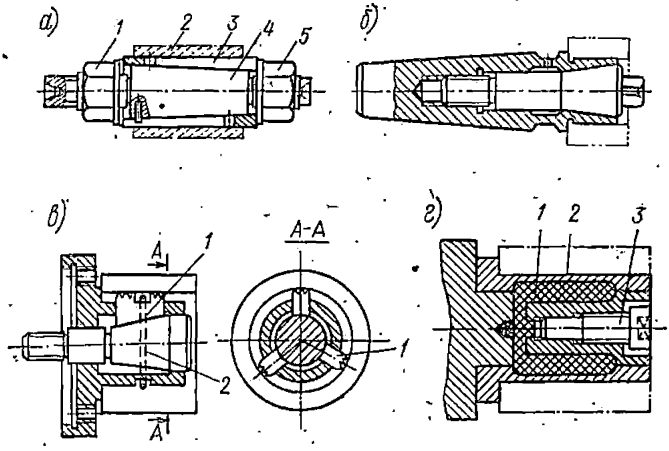


Рис. 56.

8-го). В центровых гнездах целесообразно предусматривать защитные фаски, чтобы предохранить их от случайных повреждений. Для того чтобы приводить во вращение оправку, на ее конце делают квадрат, лыски или запрессовывают поводковый палец.

Наряду с жесткими применяют разжимные оправки. На рис. 56, *а* показана центровая оправка с разжимной цангой. Затягивая гайку *5*, перемещают цангу *3* влево по конической части оправки *4*, последняя раздвигает цангу *3* (имеющую продольные разрезы), которая зажимает заготовку *2* по внутренней поверхности. Гайка *1* ограничивает перемещение цанги влево. На рис. 56, *б* приведена конструкция консольной разжимной оправки. Заготовку закрепляют затяжкой внутреннего конуса. Разжимные оправки по сравнению с жесткими обеспечивают меньшую концентричность обработки. На рис. 56, *в* приведена конструкция консольной оправки с тремя сухарями *1*, раздвигаемыми внутренним конусом *2*. Эту оправку применяют для установки толстостенных заготовок. Оправка с упругой гильзой, разжимаемой изнутри гидро-

пластом *, показана на рис. 56, *г*. Затягивая винт *3*, сжимают пластическую массу *1*, которая, разжимая тонкостенную гильзу *2*, прочно закрепляет заготовку. Оправки с гидропластом обеспечивают высокую степень концентричности (биение 0,005...0,01 мм).

Установку заготовок на базовые отверстия в стационарных приспособлениях производят на консольные пальцы. На рис. 57, *а*, *б* представлены постоянные, а на рис. 57, *в*, *г* — сменные пальцы. На рис. 57, *а*, *в*, *г* показаны пальцы с буртами; для облегчения надевания заготовок на торце пальца снимается фаска.

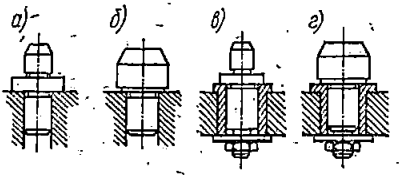


Рис. 57.

Погрешности установки на пальцы могут выражаться в смещениях заготовок в радиальном направлении на величину зазора между поверхностями сопряжения. Если базовый торец заготовки не перпендикулярен оси отверстия, то возможен перекос оси отверстия по отношению к оси пальца.

При обработке заготовки плит, рам, станин, корпусных и других деталей применяют установку на два отверстия с параллельными осями и перпендикулярную им плоскость. Она обеспечивает простую

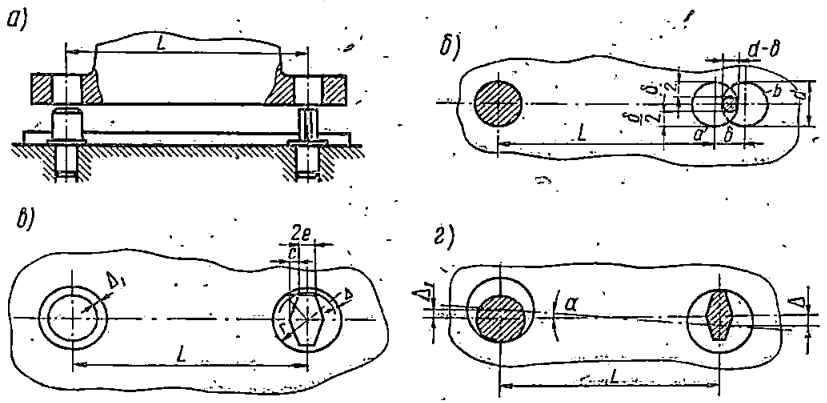


Рис. 58.

конструкцию приспособления, принцип постоянства баз и фиксацию заготовок при обработке на станках и автоматических линиях. Базовую плоскость заготовки подвергают чистовой обработке, а отверстия развертывают по 2-му классу точности. Установочными элементами служат два пальца (жестких или выдвижных) и опорные планки.

Принципиальная схема установки показана на рис. 58, *а*. Один из пальцев выполняют цилиндрической, а другой — ромбической

* Техническая характеристика гидропласта приведена на стр. 159.

формы, так как наличие допуска δ на расстояние L между осями базовых отверстий приводит к тому, что одно из отверстий (например, правое — рис. 58, *б*) может занять при установке партии заготовок два предельных положения, образованных двумя окружностями a и b. Если правый палец взять круглого сечения, то его диаметр равен $d-\delta$; в этом случае возможно покачивание заготовки на левом пальце от среднего положения на величину $\pm\delta/2$. Более выгодной формой правого пальца будет ромбическая (рис. 58, *в*); покачивание заготовки при этом равно

$$\pm\left[\frac{d}{2}-\sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2-\left(\frac{\delta}{2}\right)^2}\right].$$

Ромбический палец в поперечном сечении имеет небольшую ленточку, половина ширины которой равна e (рис. 54, *е*) и определяется по следующей формуле:

$$e=(2r\Delta-\Delta^2-c^2)/(2c),$$

при этом

$$2c=\delta_1+\delta_2-2\Delta_1,$$

где δ_1 — допуск на размер L заготовки; δ_2 — допуск на размер L приспособления; $2\Delta_1$ — диаметральный зазор при посадке заготовки на цилиндрический палец при

$$\delta_1+\delta_2>2\Delta_1.$$

Если это условие не соблюдается, то применение ромбического пальца невозможно.

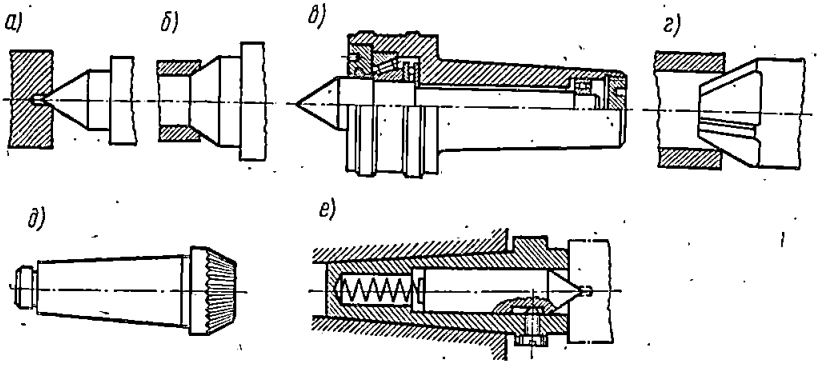


Рис. 59.

Наибольший возможный угол перекоса заготовки от среднего положения вследствие зазоров при посадке на пальцы может быть определен по формуле (рис. 58, *г*)

$$\sin\alpha\approx(\Delta+\Delta_1)/(2L),$$

или приближенно

$$\alpha\approx(\Delta+\Delta_1)/(2L).$$

Таким образом, для уменьшения α целесообразно расстояние L выбирать наибольшим.

При обработке валов и некоторых других заготовок, имеющих базовые поверхности в виде центровых гнезд (или конических фасок), в качестве установочных элементов используют центры. Различные конструктивные формы центров показаны на рис. 59. Схема установки на обычный жесткий центр показана на рис. 59, *а*; на рис. 59, *б* показана установка заготовки конической фаской на срезанный центр; на рис. 59, *в* — конструкция вращающегося центра для токарных работ; на рис. 59, *г* — установка заготовки на специальный, срезанный с зубьями центр и на рис. 59, *д* — конструкция поводкового центра для передачи момента благодаря внедрению рифлений в базовую поверхность гнезда заготовки. Этот центр обеспечивает передачу момента, необходимого для обработки, но портит поверхность гнезда.

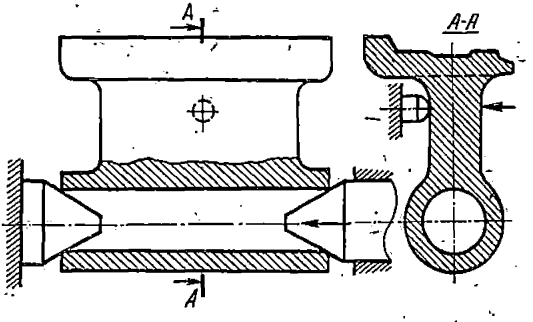


Рис. 60.

Для точной установки заготовок по длине применяют плавающий передний центр (рис. 59, *е*). В этом случае колебание диаметра центрового гнезда не влияет на осевое смещение заготовки, так как торец последней упирается в неподвижную плоскость корпуса плавающего центра.

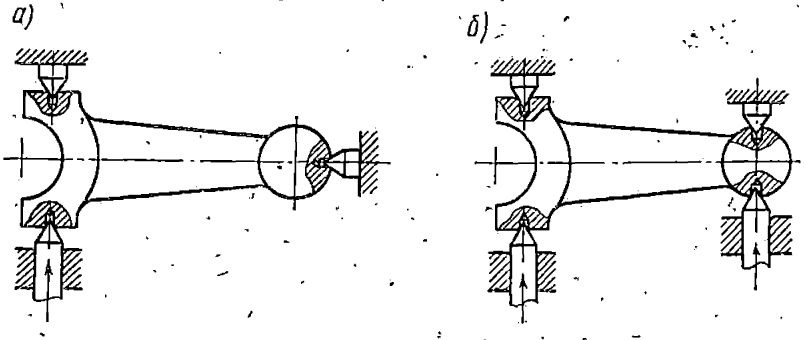


Рис. 61.

При установке на два центра заготовка сохраняет одну степень свободы — возможность вращения вокруг оси центров.

В ряде случаев (фрезерование шпоночных пазов, фрезерование квадратов) необходима дополнительная база для угловой координации заготовки. На рис. 60 показана установка заготовки с поджимом к дополнительной боковой базе.

Полную ориентацию заготовки в пространстве обеспечивают установкой на три центра (рис. 61, *а*), из которых два жестких, а один

подвижный, выполняющий роль установочного и зажимающего элемента. Преимуществами этой схемы являются хорошая устойчивость и постоянство баз, так как после подготовки центровых гнезд все операции можно выполнить при одном базировании. К недостаткам схемы относится необходимость выдерживать точную величину диаметра центровых гнезд.

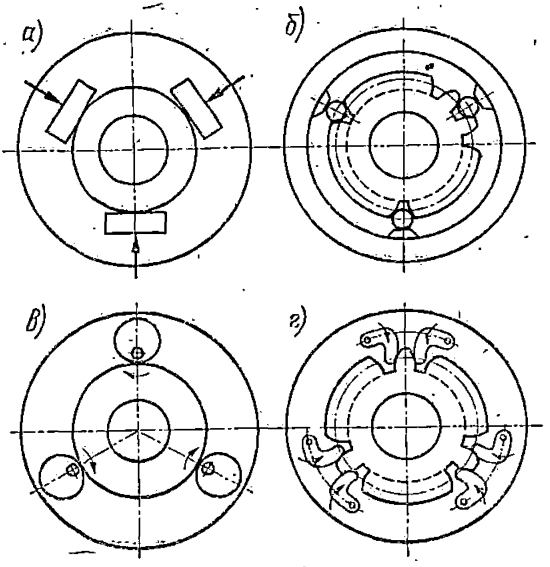


Рис. 62.

Схема базирования может осуществляться также установкой на четыре центра (рис. 61, *б*), из которых два жестких и два выдвижных. Эта схема менее чувствительна к изменению диаметра центровых гнезд, так как зазор можно выбирать, а ось детали может при этом смещаться.

При шлифовании осевых отверстий цилиндрических и конических зубчатых колес применяют базирование по рабочим поверхностям зубьев, обеспечивая этим высокую концентричность отверстия зубчатого колеса. На рис. 62 показаны различные схемы установки зубчатых колес. В качестве установочных элементов применяют рей-

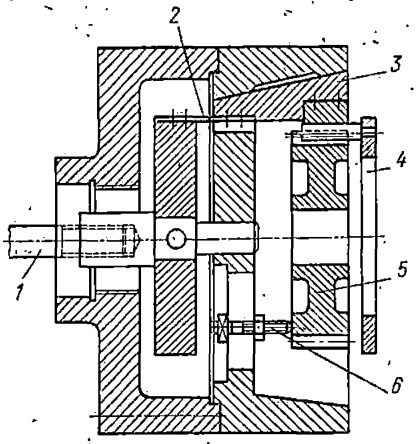


Рис. 63.

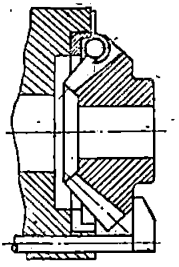


Рис. 64.

ки (рис. 62, *а*), ролики (рис. 62, *б*), зубчатые секторы (рис. 62, *в*) и качающиеся рычаги (рис. 62, *г*) в специальных патронах (для цилиндрических колес).

При использовании роликов применяют патроны (рис. 63), где установочные элементы, в данном случае ролики, крепят в обой-

ме *4*, допускающей возможность их самоустанавливания по впадинам колеса *5*. Точное центрирование обеспечивают кулачки *3*, которые скользят по наклонным пазам корпуса патрона. Осевую ориентацию заготовки осуществляют по упорам *6*. При закреплении заготовки усилие от штока *1* передается через гибкие пластинки *2* на кулачки.

Конические зубчатые колеса устанавливают по сферическим элементам, применяя специальные прижимные устройства (рис. 64).

Кроме перечисленных поверхностей в качестве установочных баз можно применять в отдельных случаях наружные и внутренние сферические поверхности, наружные и внутренние резьбовые и шлицевые поверхности, фасонные поверхности, а также различное их сочетание.

Глава XIII
ЗАЖИМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

§ 48. Назначение зажимных элементов

Основное назначение зажимных устройств приспособлений — это обеспечить надежный контакт заготовки с установочными элементами и предотвратить ее смещение и вибрацию в процессе обработки

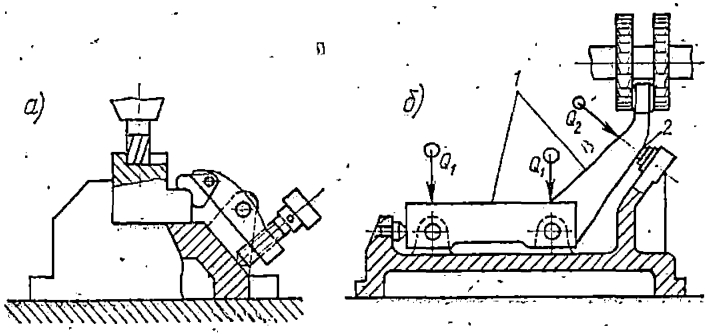


Рис. 65.

(рис. 65, *а*). Введением дополнительных зажимных устройств увеличивают жесткость технологической системы и этим достигают повышения точности, класса шероховатости и производительности обработки. На рис. 65, *б* показана схема установки заготовки *1*, которую помимо двух основных зажимов Q_1 крепят дополнительным устройством Q_2, сообщающим системе большую жесткость. Опора *2* самоустанавливающаяся.

Зажимные устройства в ряде случаев используют, чтобы обеспечить правильность установки и центрирования заготовки. В этом случае они выполняют функцию установочно-зажимных устройств. К ним относятся самоцентрирующиеся патроны, цанговые зажимы и др.

Зажимные устройства не применяют, если обработке подвергается тяжелая, устойчивая заготовка, по сравнению с массой которой силы,

возникающие в процессе резания, относительно невелики и приложены так, что не могут нарушить установку заготовки.

К зажимным устройствам приспособлений предъявляют требования надежности в работе, простоты конструкции и удобства в обслуживании; они не должны вызывать деформаций закрепляемых заготовок и порчи их поверхностей, не должны сдвигать заготовку в процессе ее закрепления. Закрепление и открепление заготовок должно происходить с минимальной затратой сил и времени станочника. Зажимные устройства должны быть износоустойчивыми. Для упрощения ремонта наиболее изнашиваемые детали целесообразно делать сменными. При закреплении заготовок в многоместных приспособлениях их зажимают равномерно; при ограниченном перемещении зажимного элемента (клин, эксцентрик) его ход должен быть больше допуска на размер заготовки от ее установочной базы до места приложения зажимной силы. Конструкция зажимного устройства должна быть рациональной с точки зрения техники безопасности.

Место приложения зажимной силы выбирают по условию наибольшей жесткости и устойчивости крепления и минимальной деформации заготовки. При повышении точности обработки необходимо соблюдать условия постоянства величины зажимной силы, направление которой должно совпадать с расположением опор.

§ 49. Виды зажимных элементов

К зажимным элементам относят механизмы, непосредственно используемые для закрепления заготовок или выполняющие роль промежуточных звеньев в более сложных зажимных системах.

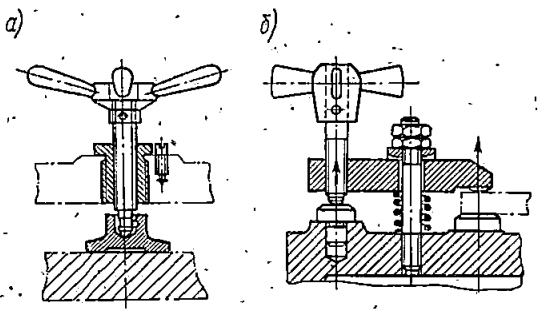


Рис. 66.

Наиболее простыми универсальными видами зажимов являются зажимные винты, которые приводят в действие насаженными на них ключами, рукоятками или маховичками.

Чтобы предотвратить сдвиг зажимаемой заготовки и образование на ней вмятин от винта, а также уменьшить прогиб винта при нажиме им на поверхность, не перпендикулярную его оси, на концы винтов помещают качающиеся башмаки (рис. 66, *а*).

Комбинации винтовых устройств с рычагами или клиньями называются комбинированными зажимами, разновидностью которых являются винты в комбинации с рычагами — винтовые прихваты (рис. 66, *б*).

Устройство прихватов должно позволять им отодвигаться или поворачиваться, чтобы можно было удобнее устанавливать обрабатываемую заготовку в приспособлении.

На рис. 67 показаны некоторые конструкции быстродействующих зажимов. Наиболее простым является зажим с применением разрезной шайбы или откидной разрезной планки. Для небольших зажимных сил применяют штыковое (рис. 67, *а*), а для значительных сил — плунжерное устройство (рис. 67, *б*). Эти устройства позволяют отводить зажимающий элемент на большое расстояние от заготовки; крепление происходит в результате поворота

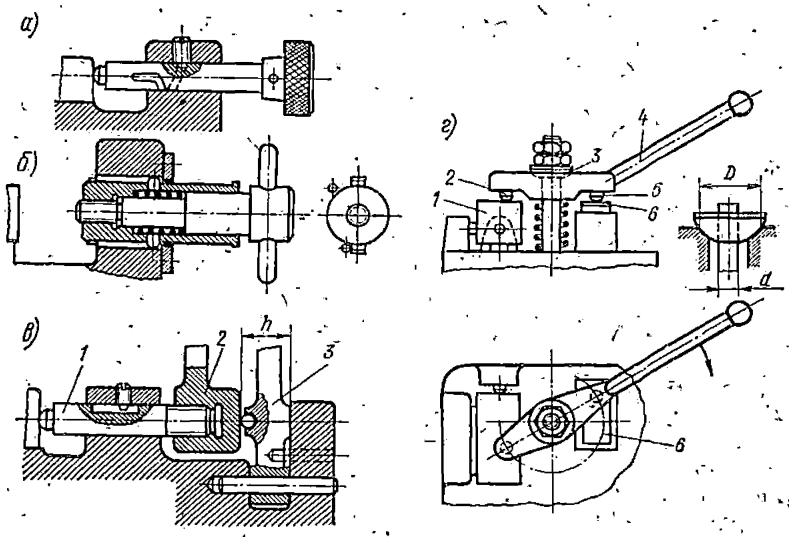


Рис. 67.

стержня на малый угол. Пример зажима с откидным упором показан на рис. 67, *в*. Ослабив гайку-рукоятку *2*, отводят упор *3*, вращая его вокруг оси. После этого зажимающий стержень *1* отводят вправо на величину *h*.

На рис. 67, *г* приведена схема быстродействующего устройства рычажного типа. При повороте рукоятки *4* штифт *5* скользит по планке *6* с косым срезом, а штифт *2* — по заготовке *1*, прижимая ее к боковым упорам, расположенным внизу. Сферическая шайба *3* служит шарниром.

Большие затраты времени и значительные силы, требующиеся для закрепления обрабатываемых заготовок, ограничивают область применения винтовых зажимов и в большинстве случаев делают предпочтительными быстродействующие зажимы с использованием эксцентриков. На рис. 68 изображены дисковый (*а*), цилиндрический с Г-образным прихватом (*б*) и конический плавающий (*в*) зажимы.

Эксцентрики бывают круглые, эвольвентные и спиральные (по спирали Архимеда). В зажимных устройствах с использованием

эксцентриковых механизмов применяются две разновидности: с круглыми и криволинейными эксцентриками.

Круглые эксцентрики (рис. 69) представляют собой диск или валик с осью вращения, смещенной на величину эксцентриситета e; условие самоторможения обеспечивается при соотношении $D/l \geqslant 4$.

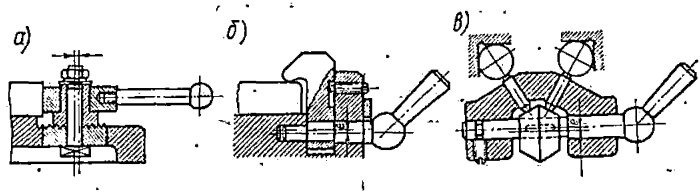


Рис. 68.

Достоинство круглых эксцентриков заключается в простоте их изготовления; основной недостаток — непостоянство угла подъема α и сил зажима Q.

Криволинейные эксцентрики, рабочий профиль которых выполняется по эвольвенте или спирали Архимеда, имеют постоянный угол подъема α, а следовательно обеспечивают постоянство сил при зажиме любой точки профиля.

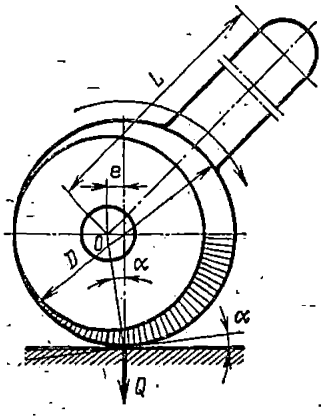


Рис. 69.

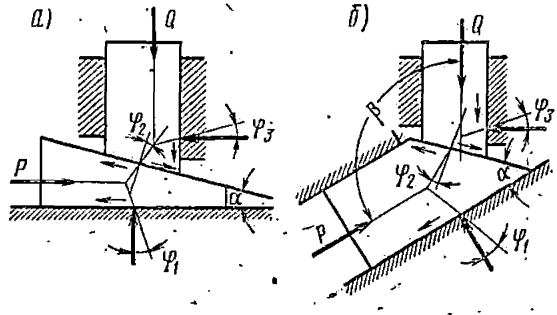


Рис. 70.

Клиновой механизм применяют как промежуточное звено в сложных зажимных системах. Он прост в изготовлении, легко размещается в приспособлении, позволяет увеличивать и изменять направление передаваемой силы. При определенных углах клиновой механизм обладает свойствами самоторможения.

Для односкосного клина (рис. 70, *а*) при передаче сил под прямым углом может быть принята следующая зависимость (при $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$):

$$P = Q \operatorname{tg}(\alpha \pm 2\varphi).$$

Самоторможение будет иметь место при $\alpha < \varphi_1 + \varphi_2$.

Для двухскосного клина при передаче сил под углом $\beta > 90°$ (рис. 70, *б*) зависимость между P и Q при постоянном угле трения, равном φ, выражается следующей формулой:

$$P = Q[\sin(\alpha + 2\varphi)/\cos(90° + \alpha - \beta + 2\varphi)].$$

Рычажные зажимы применяют в сочетании с другими элементарными зажимами, образуя более сложные зажимные системы. С помощью рычага можно изменять величину и направление передаваемой силы, а также осуществлять одновременно и равномерное закрепление заготовки в двух местах. На рис. 71 приведены схемы действия сил в одноплечих и двуплечих прямых и изогнутых зажимах.

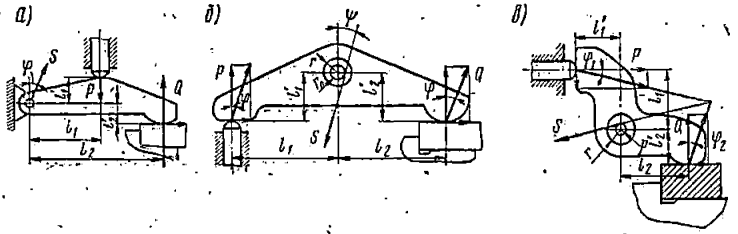


Рис. 71.

Уравнения равновесия для этих рычажных механизмов имеют следующий вид:

для одноплечего зажима (рис. 71, *а*)

$$P = Q\frac{l_1 - l_1'f - (\rho/\cos\varphi)}{l_2 + l_2'f + (\rho/\cos\varphi)};$$

для прямого двуплечего зажима (рис. 71, *б*)

$$P = Q\frac{l_2 + l_2'f + (\rho/\cos\varphi)}{l_1 - l_1'f - (\rho/\cos\varphi)};$$

для двуплечего изогнутого зажима (для $l_1 < l_2$, рис. 71, *в*)

$$P = Q\frac{l_2 + l_2'f_2 + 0{,}4\rho}{l_1 - l_1'f_1 - 0{,}96\rho}.$$

В качестве установочных элементов для наружных или внутренних поверхностей тел вращения применяют центрирующие зажимные элементы: цанги, разжимные оправки, зажимные втулки с гидропластом, а также мембранные патроны.

Цанги представляют собой разрезные пружинящие гильзы, конструктивные разновидности которых показаны на рис. 72 (*а* — с натяжной трубкой; *б* — с распорной трубкой; *в* — вертикального типа). Их выполняют из высокоуглеродистых сталей типа У10А и термически обрабатывают до твердости HRC 58...62 в зажимной и до твердости HRC 40...44 в хвостовой частях. Угол конуса цанги $\alpha = 30...40°$. При меньших углах возможно заклинивание цанги; в этом случае применяют специальный съемник. Угол конуса сжимающей втулки делают на 1° меньше или больше угла конуса цанги.

Цанги обеспечивают концентричность установки в пределах 0,02... 0,05 мм. Базовую поверхность заготовки при использовании цанг следует обрабатывать по 2...3-му классам точности.

Разжимные оправки различных конструкций (включая конструкции с применением гидропласта) относятся к установочно-зажимным приспособлениям; они описаны на стр. 146.

Мембранные патроны используют для точного центрирования заготовок по наружной или внутренней цилиндрической поверхности. Патрон (рис. 73) состоит из круглой, привертываемой к планшайбе станка мембраны *1* в форме пластины с симметрично расположенными выступами-кулачками *2*, количество которых выбирают в пределах 6...12. Внутри шпинделя проходит шток *4* пневмоцилиндра. При включении пневматики мембрана прогибается, вызывая тем самым раздвигание кулачков. При отходе штока назад мембрана, стремясь вернуться в исходное положение, сжимает своими кулачками заготовку *3*.

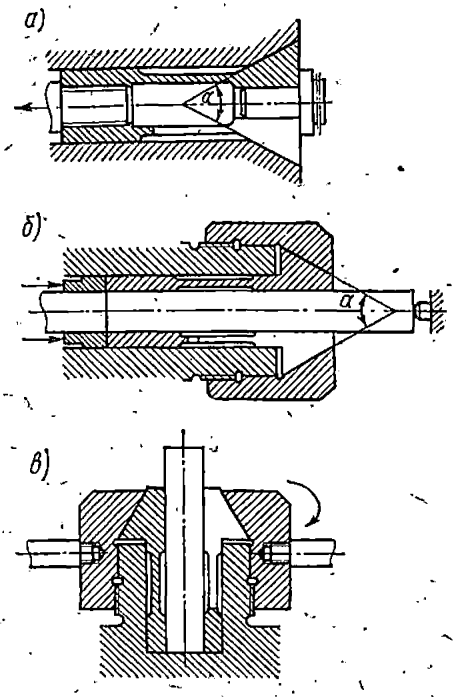


Рис. 72.

Реечно-рычажный зажим (рис. 74) состоит из рейки *3*, реечного зубчатого колеса *5*, сидящего на валу *4*, и рычага рукоятки *6*. Вращая рукоятку против часовой стрелки, опускают рейку и прихватом *2* или непосредственно закрепляют обрабатываемую заготовку *1*. Величина зажимной силы Q зависит от величины силы P, приложенной к рукоятке. Чтобы сохранить полученную зажимную силу после снятия руки станочника с рукоятки, в описанное устройство вводят замок, который, заклинивая систему, предупреждает обратный поворот реечного колеса под влиянием внутренних упругих сил. Наиболее распространены следующие виды замков.

Роликовый замок (рис. 75, *а*) состоит из поводкового кольца *3* с вырезом для ролика *1*, соприкасающегося со срезанной плоскостью валика *2* реечного колеса. Поводковое кольцо *3* скреплено с рукояткой зажимного устройства. Вращая рукоятку по стрелке, передают вращение на вал реечного зубчатого колеса через ролик *1* *. Отжим

* Замки этого типа выполняют с тремя роликами, расположенными под углом 120°.

системы предупреждается заклиниванием ролика между поверхностью расточки корпуса *4* и срезанной плоскостью валика *2*.

Роликовый замок с прямой передачей момента от поводка на валик показан на рис. 75, *б*. Вращение от рукоятки через поводок передается

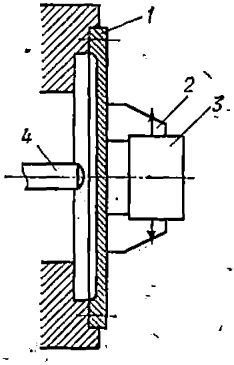


Рис. 73.

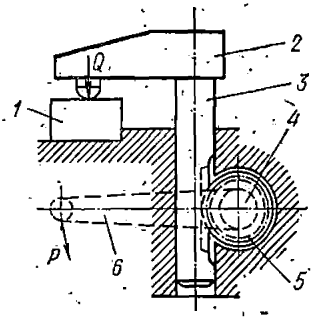


Рис. 74.

непосредственно на вал *6* реечного колеса. Ролик *3* через штифт *4* поджат слабой пружиной *5*. Так как зазоры в местах касания ролика кольцом *1* и валом *6* при этом выбирают, система мгновенно заклинивается при снятии силы с рукоятки *2*. Поворотом рукоятки в обрат-

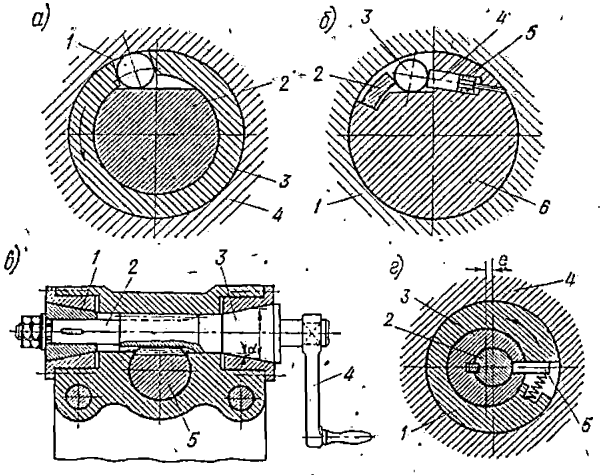


Рис. 75.

ную сторону ролик расклинивается и вращает вал по часовой стрелке. Трение ролика мало, а к. п. д. замка близок к единице.

Конический замок (рис. 75, *в*) имеет коническую втулку *1* и вал *2* конусом *3* и рукояткой *4*. Спиральные зубья на средней шейке вала находятся в зацеплении с рейкой *5*. Последняя связана с испол-

нительным зажимающим механизмом. При угле наклона зубьев 45° осевая сила на валу *2* равна (без учета трения) зажимной силе.

Эксцентриковый замок (рис. 75, *г*) состоит из вала *2* реечного колеса, на котором заклинен эксцентрик *3*. Вал приводится во вращение кольцом *1*, скрепленным с рукояткой замка; кольцо вращается в расточке корпуса *4*, ось которой смещена от оси вала на расстояние *е*. При обратном вращении рукоятки передача на вал происходит через штифт *5*. В процессе закрепления кольцо *1* заклинивается между эксцентриком и корпусом.

Комбинированные зажимные устройства представляют собой сочетание элементарных зажимов различного типа. Их применяют в целях увеличения зажимной силы, изменения величины хода зажимной силы, уменьшения габаритов, а также для создания наибольших удобств управления. Комбинированные зажимные устройства могут также обеспечивать одновременное крепление заготовки в нескольких местах. Виды комбинированных зажимов приведены на рис. 76.

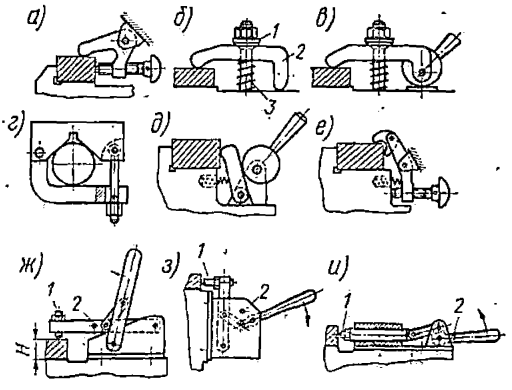


Рис. 76.

Сочетание изогнутого рычага и винта (рис. 76, *а*) позволяет одновременно закреплять заготовку в двух местах, равномерно повышая зажимные силы до заданной величины. Обычный поворотный прихват (рис. 76, *б*) представляет собой сочетание рычажного и винтового зажимов. Ось качания рычага *2* совмещена с центром сферической поверхности шайбы *1*, которая разгружает шпильку *3* от усилий изгиба. Показанный на рис. 76, *в* прихват с эксцентриком является примером быстродействующего комбинированного зажима. При определенном соотношении плеч рычага можно увеличить зажимную силу или ход зажимающего конца рычага.

На рис. 76, *г* показано устройство для закрепления в призме цилиндрической заготовки посредством накидного рычага, а на рис. 76, *д*—схема быстродействующего комбинированного зажима (рычаг и эксцентрик), обеспечивающего боковое и вертикальное прижатие заготовки к опорам приспособления, так как сила зажима приложена под углом. Аналогичное условие обеспечивается устройством, изображенным на рис. 76, *е*.

Шарнирно-рычажные зажимы (рис. 76, *ж*, *з*, *и*) являются примерами быстродействующих зажимных устройств, приводимых в действие поворотом рукоятки. Для предотвращения самооткрепления зажима в процессе обработки рукоятку переводят через мертвое положение до упора *2*. Сила зажима зависит от величины деформации систем

и ее жесткости. Желаемая деформация системы может быть установлена регулировкой нажимного винта *1*. Однако наличие допуска на размер *H* (рис. 76, *ж*) не обеспечивает постоянства зажимной силы для всех заготовок данной партии.

Комбинированные зажимные устройства приводятся в действие вручную или от силовых узлов.

Зажимные механизмы для многоместных приспособлений должны обеспечивать равномерное закрепление всех размещенных в приспособлении заготовок. В простейшем случае многоместным приспособлением является оправка, на которую устанавливают пакет заготовок (кольца, диски), закрепляемых по торцевым плоскостям затяжкой одной гайки (последовательная схема передачи зажимной силы). На рис. 77, *а* показан пример зажимного устройства механического типа, работающего по принципу параллельного распределения зажимной силы.

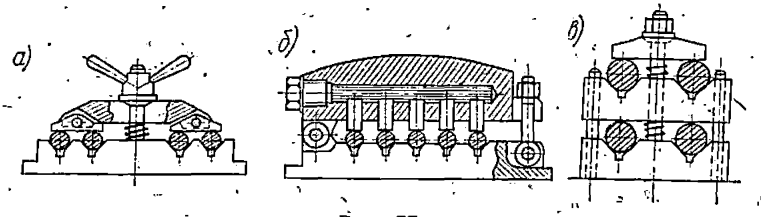


Рис. 77.

Если необходимо обеспечить концентричность базовой и обрабатываемой поверхностей и предотвратить деформирование обрабатываемой заготовки, применяют упругие зажимные устройства, где приложенное зажимное усилие посредством заполнителя или другого промежуточного тела равномерно деформирует зажимной элемент приспособления (в пределах упругих деформаций), обеспечивая точность установки и надежность зажима заготовки.

В качестве промежуточного тела наряду с обычными пружинами и роликами применяют резину и гидропласт.

Зажимное устройство параллельного действия с использованием гидропласта * показано на рис. 77, *б*. На рис. 77, *в* приведено устройство смешанного (параллельно-последовательного) действия.

На станках непрерывного действия (барабанно-фрезерные, специальные многошпиндельные сверлильные) заготовки устанавливают и снимают, не останавливая движение подачи. Если вспомогательное время перекрывается машинным, то для закрепления заготовок можно применять зажимные устройства различных типов.

В целях механизации производственных процессов целесообразно использовать зажимные устройства автоматизи-

* Гидропласт марки СМ состоит из 78% пластификатора (дибутилфталата или дибутиламидината), 20% полихлорвиниловой смолы и 2% стабилизатора (стеарат кальция). Этот состав сравнительно мало текуч, используется при температуре от 5 до 60° С. Температура плавления состава 130...140° С, температура застывания ~ 120° С.

рованного (непрерывного действия) типа, приводимые в действие от механизма подачи станка. На рис. 78, *а* приведена схема устройства с гибким замкнутым элементом *1* (трос, цепь) для закрепления цилиндрических заготовок *2* на барабанно-фрезерном станке

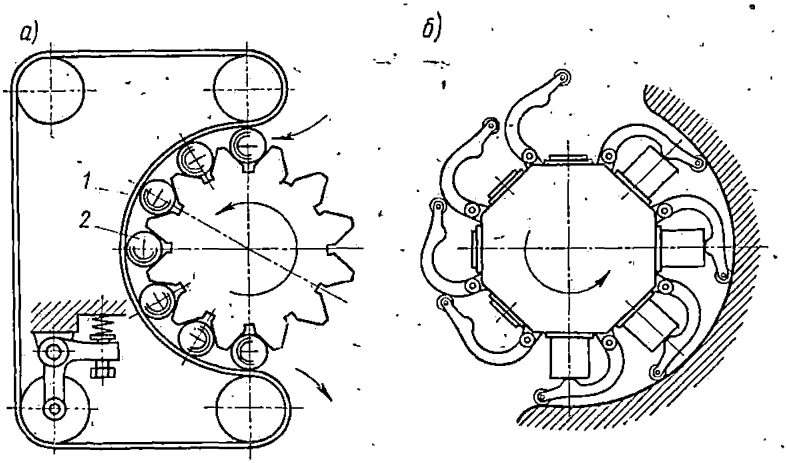


Рис. 78.

при обработке торцевых поверхностей. На рис. 78, *б* дана схема устройства для закрепления заготовок поршней на многошпиндельном горизонтально-сверлильном станке. В обоих устройствах станочники только устанавливают и снимают заготовку, а закрепление заготовки происходит автоматически.

Глава XIV
НАПРАВЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

При выполнении некоторых операций механической обработки (сверление, растачивание) жесткость режущего инструмента и технологической системы в целом оказывается недостаточной. Для устранения упругих отжимов инструмента относительно заготовки применяют направляющие элементы. Они должны быть точными, износоустойчивыми и при большой производственной программе — сменными. Такими элементами приспособлений являются кондукторные втулки для сверлильных и расточных приспособлений.

Конструкция и размеры кондукторных втулок для сверления стандартизованы. Втулки бывают постоянные (рис. 79, *а*) и сменные (рис. 79, *б*). Постоянные втулки применяют в кондукторах для мелкосерийного производства при обработке отверстия одним инструментом. Сменные втулки используют в приспособлениях для массового и крупносерийного производства. Втулки быстросменные с замком (рис. 79, *в*) употребляют при обработке отверстия несколькими последовательно-сменяемыми инструментами. Сменные и быстросменные

втулки вставляют в постоянные втулки, запрессовываемые в корпус приспособления.

При диаметре отверстия до 25 мм втулки изготовляют из стали марки У10А, закаливают до твердости HRC 60...65, при диаметре отверстия свыше 25 мм — из стали 20 (20Х) с цементацией и закалкой до той же твердости.

Ориентировочный срок службы кондукторных втулок 10 000... 15 000 сверлений.

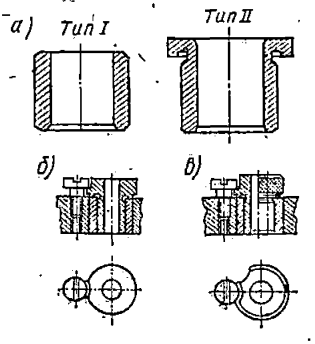


Рис. 79.

Если инструменты направляются во втулке не рабочей частью, а цилиндрическими центрирующими участками, отверстие втулки выполняют с допусками по системе отверстия. Для определения предельных размеров отверстия допуски на диаметр инструмента принимают по соответствующим ГОСТам. Эксцентриситет наружной поверхности втулки по отношению к отверстию не должен превышать 0,005 мм. Между нижним торцом втулки и поверхностью заготовки оставляют зазор от 1/3 d до d, а при сверлении глубоких отверстий в стали — до 1,5 d (здесь d — диаметр обрабатываемого отверстия). Посадочные поверхности втулок обрабатывают шлифованием по 7...8-му классам шероховатости. Поверхность отверстия для прохода инструмента отделывают по 9...10-му классам шероховатости для повышения срока службы втулки.

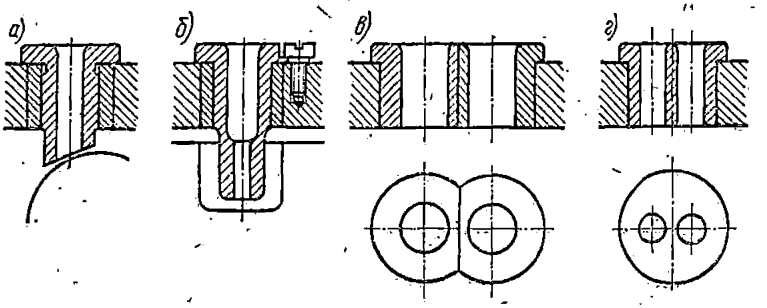


Рис. 80.

Примеры специальных втулок даны на рис. 80. На рис. 80, *а* показана втулка, которую применяют при сверлении отверстий на наклонных поверхностях; удлиненную быстросменную втулку (рис. 80, *б*) применяют, если отверстие обрабатывают в углублении заготовки; при малом расстоянии между осями отверстий используют срезанные втулки (рис. 80, *в*) или одну блочную (рис. 80, *г*).

Для направления борштанг (расточных оправок) применяют неподвижные и вращающиеся втулки. На рис.

81, *а* приведена конструкция вращающейся втулки, поверхность скольжения которой защищена от стружки. На рис. 81, *б* показана втулка, смонтированная на подшипниках качения. В обеих конструкциях на внутренних поверхностях прорезан шпоночный паз для шпонки борштанги; этим обеспечивается принудительное вращение втулок. Для облегчения попадания шпонки в паз втулки последнюю

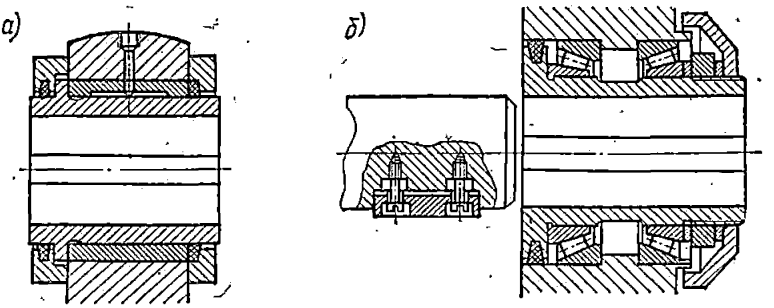


Рис. 81.

часто выполняют со скошенными кромками или плавающей. На внутренней поверхности втулки часто предусматривают пазы для прохода выступающих резцов борштанги.

К направляющим элементам приспособлений относятся также к о п и р ы, применяемые при обработке фасонных поверхностей сложного профиля, задача которых — направлять режущий инструмент по обрабатываемой поверхности заготовки для получения заданной траектории их движения.

Глава XV
ДЕЛИТЕЛЬНЫЕ И ПОВОРОТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Делительные и поворотные устройства, применяемые в многопозиционных приспособлениях, служат для придания обрабатываемой заготовке различных положений относительно рабочего инструмента.

Делительное устройство состоит из диска, закрепляемого на поворотной части приспособления, и фиксатора. Конструкции фиксаторов показаны на рис. 82. Шариковый фиксатор (рис. 82, *а*) наиболее прост, но не обеспечивает точного деления и не воспринимает момента от силы резания. Поворотную часть устанавливают в заданное положение вручную до возникновения характерного щелчка при западании шарика в новое гнездо. Фиксатор с вытяжным цилиндрическим пальцем (рис. 82, *б*) может воспринимать момент, но он не обеспечивает деления высокой точности вследствие зазоров в подвижных соединениях. Несколько бо́льшую точность дает фиксатор с конической заточкой вытяжного пальца (рис. 82, *в*). Для устранения радиального зазора вводят гидропластовую втулку *Г* (рис. 82, *г*), применяют также клиновые фиксаторы и фиксаторы с прорезью (рис. 82, *д*).

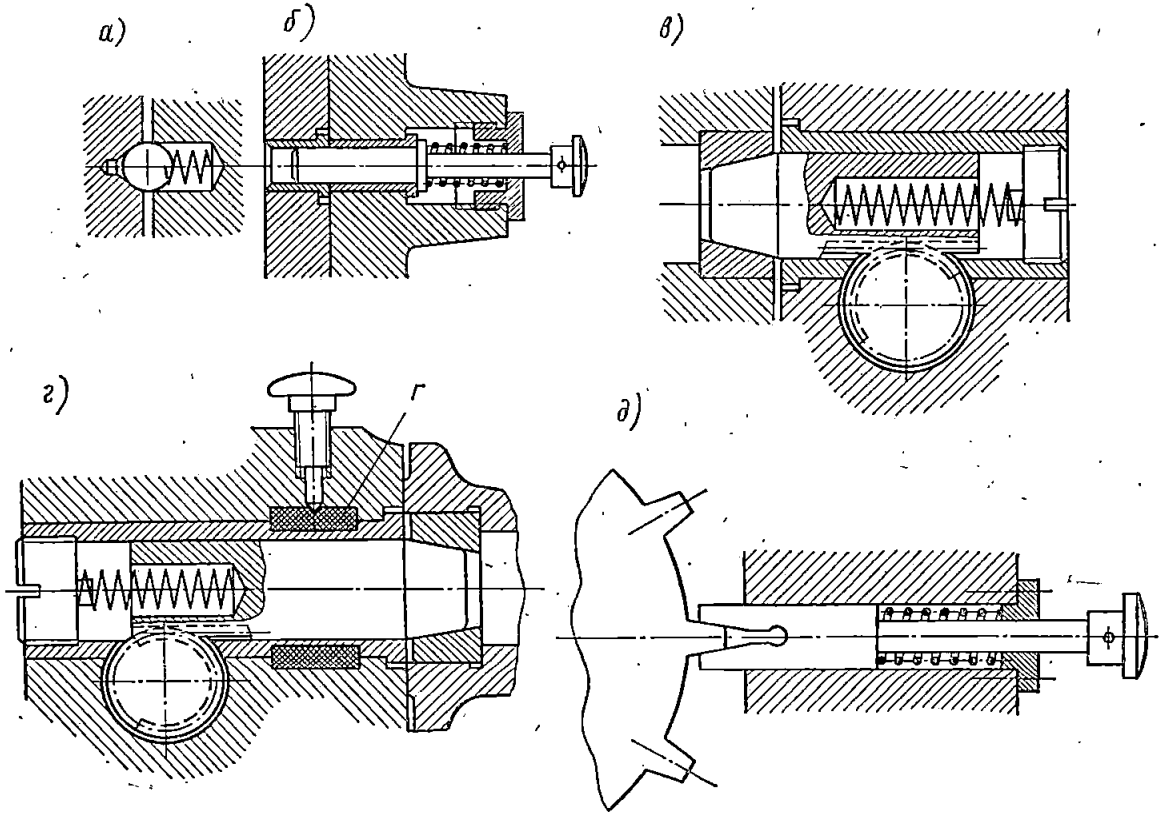


Рис. 82.

Управляют фиксатором в приспособлениях вытяжной кнопкой, рукояткой, закрепленной на реечном колесе, или педальным устрой-

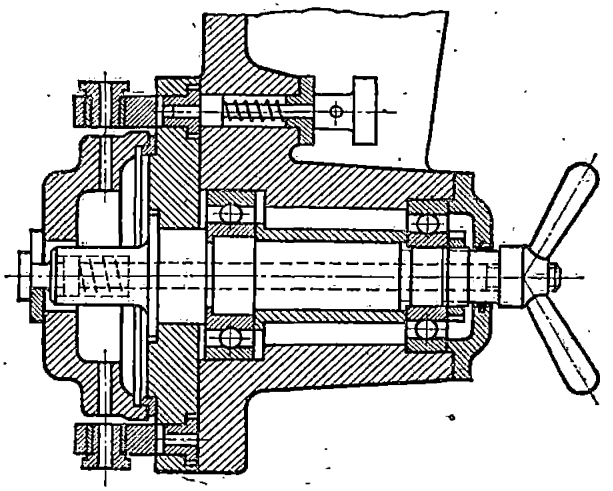


Рис. 83.

ством. Общая компоновка кондуктора с поворотным и делительным механизмом, имеющим горизонтальную ось, показана на рис. 83.

В делительном приспособлении для фрезерного станка (рис. 84) фиксатор *4* сблокирован с поворачивающей собачкой *2*. При возвратно-поступательном движении стола их работа осуществляется от неподвижного упора *3*. Упор *1* предупреждает поворот делительного диска *5* в обратную сторону.

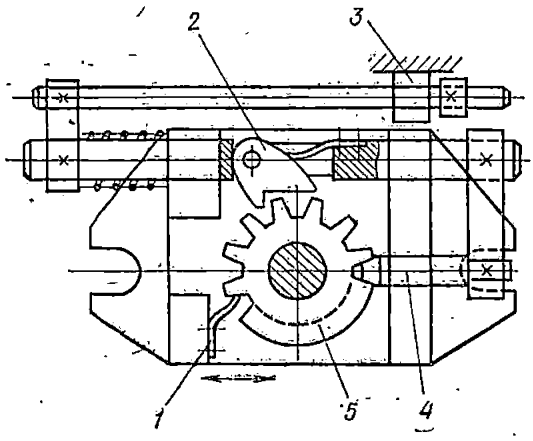


Рис. 84.

Для уменьшения момента вращения в приспособлениях горизонтального типа центр тяжести поворотной системы (включая заготовку) должен лежать на оси вращения. Это достигается соответствующей компоновкой приспособления и установкой корректирующих противовесов. В приспособлениях с вертикальной осью масса тяжелой поворотной системы воспринимает упорный подшипник качения.

На рис. 85 показана конструкция стола, верхняя часть которого поворачивается на требуемый угол при подъеме на упорном шарикоподшипнике. Подъем осуществляется различными механическими

устройствами или (как показано на рисунке) пневмоцилиндром. При опускании стол «садится» на торцевую плоскость основания и плотно к нему прижимается. Применяя упорные шарикоподшипники, можно в несколько раз уменьшить момент трения при вращении поворотной части приспособления.

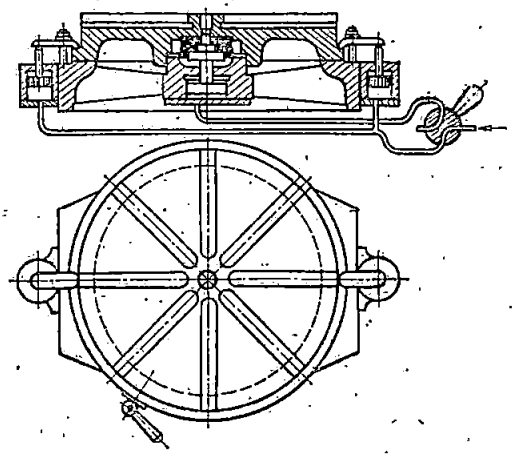


Рис. 85.

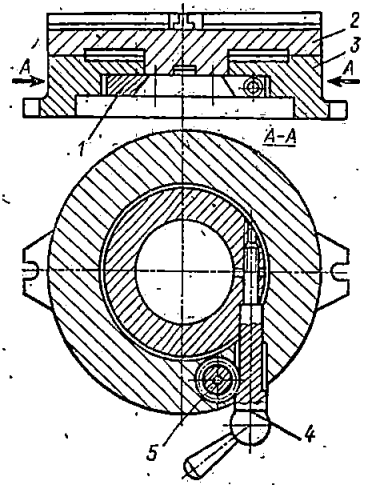


Рис. 86.

На рис. 86 показано механическое прижимное устройство стола, сблокированное с фиксатором. При вращении рукоятки *4* по часовой стрелке вводят реечный фиксатор *5*, одновременно сжимается разрезное коническое кольцо *1* и поворотная часть *2* стола притягивается к основанию *3*. При обратном вращении рукоятки фиксатор выводится из гнезда, затяжка кольца ослабляется и стол можно повернуть.

Глава XVI
КОРПУСА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Корпус является базовой деталью приспособления, где монтируют установочные элементы, зажимные устройства, направляющие элементы инструмента, а также вспомогательные детали и механизмы. Корпус воспринимает силы, возникающие при обработке, а также зажимные силы. Корпус приспособления должен иметь минимальную массу, быть жестким и прочным. Конструкция его должна быть удобна для быстрой установки и съема заготовок, для очистки от стружки и отвода охлаждающей жидкости. Корпус должен допускать установку и закрепление приспособления на станке без выверки, для чего в нем предусматривают направляющие элементы (пазовые шпонки, центрирующие бурты и т. п.), быть простым и дешевым в изготовлении и обеспечивать соблюдение требований техники безопасности.

Корпуса передвижных и кантуемых приспособлений выполняют с отлитыми или вставными ножами, ограничивающими поверхность

контакта со столом станка. Размеры и конфигурация ножек в плане должны обеспечивать при любом положении корпуса перекрытие

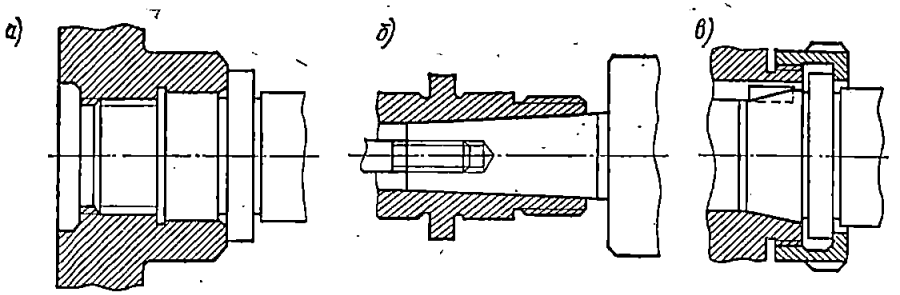


Рис. 87.

Т-образных пазов стола. Для лучшего отвода охлаждающей жидкости и удаления стружки в корпусах предусматривают наклонные поверхности и избегают углублений в труднодоступных местах.

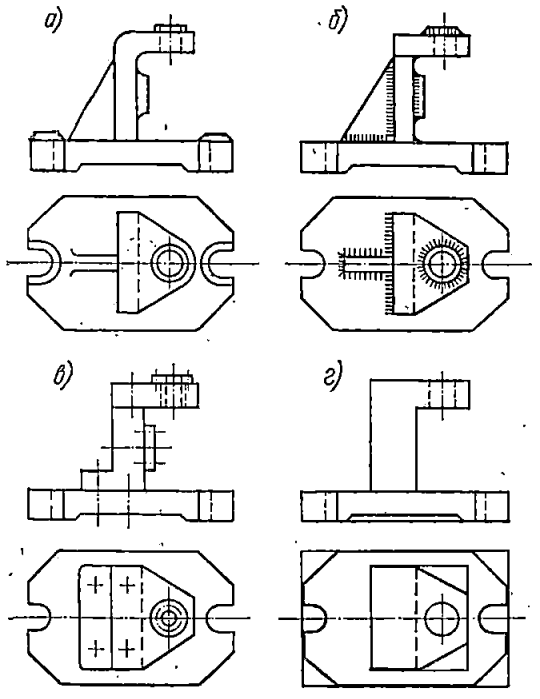


Рис. 88.

Угол наклона этих поверхностей α рекомендуется принимать для чугунной стружки равным 30...35°, для стальной стружки с маслом — 25...50°, для алюминиевой — 40...45°.

Корпус крепят на станке обычно болтами, которые заводят в Т-образные пазы стола. В серийном производстве, где на одном станке периодически выполняют различные операции, корпус следует крепить на столе станка с минимальной затратой времени. Для этого на корпусе оставляют полки для крепления его прихватами либо предусматривают литые ушки для крепежных болтов.

Быстрая и точная установка приспособления на столе станка без выверки обеспечивается обычно направляющими шпонками, вводимыми в Т-образный паз стола. Шпонки выполняют в виде коротких сухарей, привернутых к нижней плоскости корпуса; для того чтобы

перекосы приспособления в результате зазоров в шпоночных соединениях были возможно меньшими, расстояние между шпонками следует выбирать возможно большим. На рис. 87 показаны примеры центрирования и крепления корпусов приспособлений на шпинделях станков токарной группы: *а* — цилиндрического; *б* — конического; *в* — токарного.

Корпуса тяжелых приспособлений для удобства захвата при установке и снятии со станка снабжают рым-болтами.

Простейшие корпуса приспособлений представляют собой прямоугольную плиту. Корпус может иметь форму планшайбы, угольника, тавра, корыта или более сложную. В приспособлениях для сверления заготовок с нескольких сторон корпуса имеют коробчатую форму.

Корпуса изготовляют из серого чугуна СЧ12—28 и стали Ст3, в некоторых случаях (например, корпуса поворотных приспособлений) используют алюминиевые сплавы.

Корпуса приспособлений получают литьем, сваркой, ковкой, резкой из сортового материала (проката), а также сборкой из отдельных элементов на винтах или с натягом. Литье применяют в основном для корпусов сложной конфигурации.

С помощью сварки также можно получать корпуса сложных конфигураций, сокращая сроки и себестоимость их изготовления. Применяя усилительные ребра, уголки и косынки, можно получать жесткие и надежные в работе корпуса сварной конструкции. Стоимость сварных корпусов в отдельных случаях может быть снижена вдвое по сравнению с литыми, а масса уменьшена на 40%.

На рис. 88 показаны примеры литого (*а*), сварного (*б*), сборного (*в*) и кованого (*г*) корпусов одной конструкции. Здесь конфигурация сварного корпуса мало отличается от литого; конфигурации сборного, а также кованого наиболее просты.

Глава XVII
МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ПРИВОДЫ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Наибольшую часть вспомогательного времени обычно затрачивают на установку, зажим заготовки и раскрепление обработанной заготовки, поэтому наряду с сокращением машинного времени большое значение имеет *сокращение вспомогательного времени*. Вспомогательное время можно сократить, применяя механизированные приводы, которые в зависимости от типа привода и источника энергии могут быть подразделены на следующие основные группы: механические, пневматические, гидравлические, пневмогидравлические, электромеханические и электромагнитные.

Область применения механических приводов с ручным управлением практически ограничивается небольшими зажимными силами. Использование их в многоместных приспособлениях создает сложные и громоздкие конструкции, требующие больших затрат времени на зажим и освобождение обработанных заготовок.

Наибольшее распространение на заводах машиностроения получили приспособления с пневматическим приводом, который в соче-

тании с различными механическими передачами обеспечивает при постоянной силе надежность зажима заготовки, возможность регулирования и последовательность действия зажима.

Существенный недостаток пневматического привода — его относительно большие габариты. Ограничение габаритов возможно только при введении в конструкцию привода усиливающих передач, но это вызывает снижение к. п. д. привода, требует увеличения длины хода штока, а значит, и длины цилиндра. Однако наличие почти на каждом машиностроительном заводе источника энергии, т. е. сжатого воздуха, сравнительно небольшая себестоимость выработки этого вида энергии, простота коммуникаций и воздухоснабжения потребителей оборудования обеспечивают пневмоприводу весьма широкое применение.

Объединение принципов пневматического и гидравлического приводов с увеличением зажимной силы, развиваемой пневматическим цилиндром и гидравлической системой, является одним из основных направлений в механизации и автоматизации технологических процессов обработки, обеспечивающих резкое сокращение вспомогательного времени и значительное повышение производительности труда.

§ 50. Пневматические приводы

Принцип работы пневматического привода заключается в том, что сжатый воздух, поступающий из заводской магистрали в рабочую полость пневмоцилиндра, давит на поршень и заставляет его совершать поступательное движение, необходимое для зажима заготовки, а затем возвращает поршень в исходное положение, в результате чего обработанная заготовка раскрепляется.

В качестве пневматического привода могут быть использованы пневматические цилиндры и пневматические камеры. Пневматические цилиндры бывают двустороннего и одностороннего действия: в первом случае поршень со штоком, воздействующим на зажимной элемент, возвращается в исходное положение сжатым воздухом, а во втором — пружиной.

На рис. 89, *а* показана принципиальная схема пневматического привода двустороннего действия. Привод состоит из пневматического цилиндра *1*, поршня *2*, штока *3*, переключающего распределительного крана *4* и воздухопровода *5*. В состав пневматического привода входит также аппаратура соединения воздуховода с распределительным краном, предназначенная не только для регулирования и контроля давления в сети, но и для отделения механических частиц и влаги, образующейся в результате конденсации водяных паров из сжатого воздуха. Эта аппаратура состоит из редукционного клапана с манометром, вентиля, фильтра, масленки для смазки манжет и сальников и воздуховода. Полости пневматического цилиндра соединены с распределительным краном, который попеременно направляет сжатый воздух в полость цилиндра, а отработанный — в атмосферу. Распределительный кран *4* является золотниковым устройством, состоящим из корпуса и золотника. Отверстия крана расположены так, что при одном крайнем положении золотника одна полость цилиндра соединяется

с воздухопроводом, другая — с выходом в атмосферу. При другом же крайнем положении золотника сжатый воздух направляется в противоположную полость цилиндра и соответственно из другой полости цилиндра воздух выпускается в атмосферу.

При работе с цилиндром одностороннего действия (рис. 89, *б*) одно отводящее отверстие в распределительном кране заглушается, а в нерабочей полости пневматического цилиндра предусматривается отверстие для выпуска излишка воздуха. В этом случае поршень возвращается в исходное положение пружиной *3*.

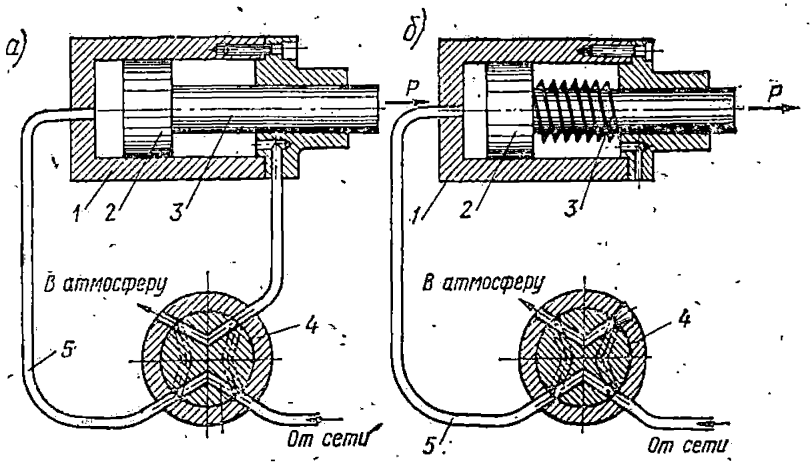


Рис. 89.

Передаваемая штоком сила P(кгс) в пневмоцилиндрах зависит от типа последних и без учета потерь на трение ее рассчитывают по следующим формулам:

для пневматических цилиндров двустороннего действия

$P = p\ (\pi D^2/4)$ — для полости цилиндра без штока;

$P = p\ [\pi\ (D^2 - d^2)/4]$ — для полости цилиндра со штоком;

для пневматических цилиндров одностороннего действия

$P = p\ (\pi D^2/4) - q$ — для полости цилиндра без штока;

$P = p\ [\pi\ (D^2 - d^2)/4] + q$ — для полости цилиндра со штоком, где p — удельное давление воздуха, кгс/см^2; D — диаметр поршня, см; d — диаметр штока, см; q — сила сопротивления пружины, кгс.

Обычно нормальное давление сжатого воздуха, поступающего из заводской сети, составляет 5...6 кгс/см^2 (более низкое давление вызывает увеличение диаметров пневматических цилиндров), однако при расчете следует учитывать одновременность работы ряда потребителей воздуха, а также потери в воздухопроводе (сети), поэтому расчетное давление следует принимать 4 кгс/см^2.

Расход воздуха зависит от принятой схемы действия пневматического цилиндра; при использовании цилиндров одностороннего действия расход воздуха меньше, чем в цилиндрах двустороннего действия. Применение цилиндров одностороннего действия ограничивается дли-

ной хода поршня, скоростью его обратного движения и уменьшением силы, передаваемой штоком, на величину, потребную для сжатия возвратной пружины.

Пневматические цилиндры применяют с внутренним диаметром, равным 50; 75; 100; 150; 200; 250 и 300 мм; цилиндры диаметром меньше 50 мм используют в редких случаях, например для выталкивания обработанных заготовок из приспособления, поджима заготовок к установочной поверхности и т. п. Дальнейшее увеличение диаметра пневматических цилиндров (свыше 300 мм) приводит к усложнению конструкции привода и увеличению его габаритов, поэтому в случаях, когда требуется бо́льшая сила зажима, целесообразно применять пневмогидравлические приводы.

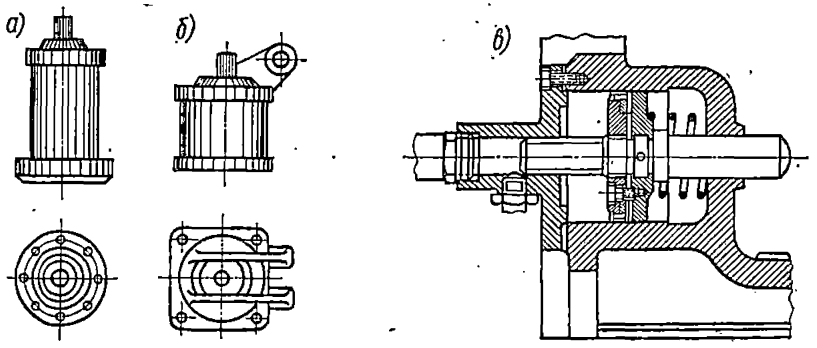


Рис. 90.

Пневматические цилиндры могут быть стационарными, вращающимися, качающимися и плавающими. Имеются также специальные конструкции цилиндров. Обычно цилиндры изготовляют как самостоятельные узлы, но иногда пневматический цилиндр выполняют в корпусе приспособления (встроенный цилиндр). Основные типы пневматических цилиндров приведены на рис. 90, *а*, *б*, *в*.

Каждый пневматический цилиндр состоит из корпуса, поршня и штока. В *корпусе* цилиндра устанавливают втулку, а с торцов цилиндра — одну или две крышки, которые центрируют буртиками по внутреннему диаметру втулки. Чтобы предотвратить просачивание воздуха, поршень и крышки в месте прохождения штока снабжают уплотнениями.

Крышки с втулкой и корпусом могут быть соединены длинными шпильками или болтами, пропущенными снаружи корпуса. При изготовлении корпуса пневматического цилиндра совместно с передней крышкой заднюю крышку привертывают винтами. Втулку и крышки изготовляют из чугуна, стали и алюминия. В крышках делают выточки глубиной 3 мм и диаметром 10 мм для предварительного накопления сжатого воздуха при ходе поршня до упора задней или передней крышки.

Пневматические приводы применяют обычно с односторонним штоком, т. е. со штоком, проходящим через одну из крышек цилиндра.

Пневматические камеры. Движение штока в пневматической камере происходит в результате деформации диафрагмы.

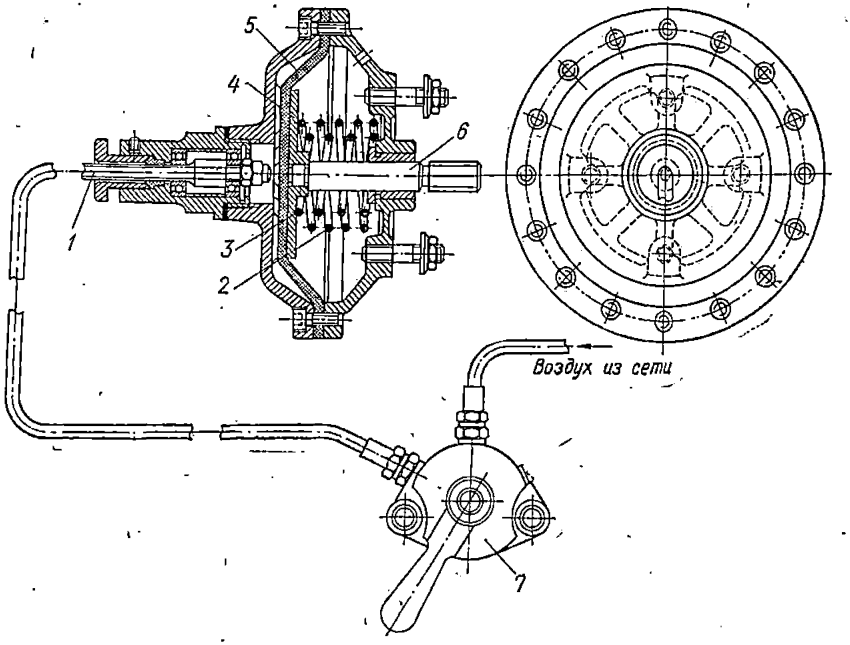


Рис. 91.

Диафрагменная пневматическая камера (рис. 91) представляет собой корпус, выполненный из двух литых или штампованных чашек, между которыми установлена резиновая тарельчатая, а иногда плоская диафрагма. Шайба *4*, установленная на штоке *6*, прижимается пружинами *2* и *3* к резиновой диафрагме *5*. При впуске воздуха в корпус камеры диафрагма деформируется и, воздействуя на шайбу, передает давление штоку *6*. Камера имеет только одно впускное отверстие для воздуха, который поступает по воздухопроводу *1* через распределительный кран *7*. При переключении распределительного крана *7* воздух направляется в атмосферу, пружины *2* и *3* возвращают шайбу со штоком, а значит, и диафрагму в исходное положение.

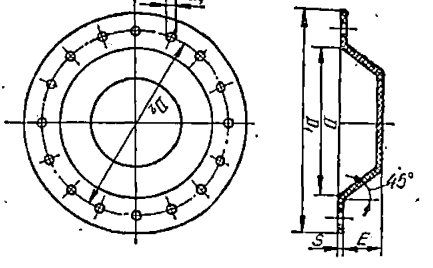


Рис. 92.

Тарельчатую диафрагму (рис. 92) изготовляют из четырехслойной прорезиненной ткани. Основные размеры диафрагм приведены в табл. 14. Плоские диафрагмы применяют только при небольшом ходе штока.

Диаметр шайбы камеры принимают равным 0,8 диаметра диафрагмы; дальнейшее увеличение диаметра шайбы влечет уменьшение хода штока.

Таблица 14. Основные размеры резиновых диафрагм тарельчатой формы, мм

D_1	D	S	E	D_2	d_1	Количество отверстий
174	129	6	27	154	9	12
200	141	6	27	173	9	16
228	178	6	27	204	9	18

Пневматические камеры имеют ход штока 30...35 мм. При этих величинах хода штока пневматические камеры с диаметром диафрагмы,

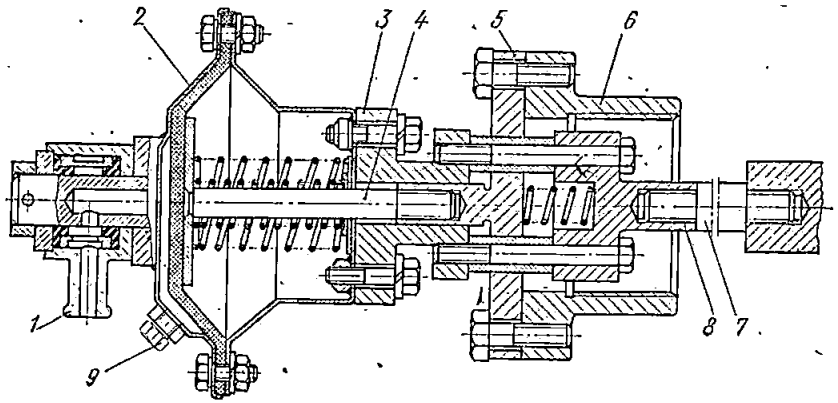


Рис. 93.

равным 174, 200 и 228 мм, без применения усиливающих механизмов развивают соответственно силы зажима, равные 250...300, 300...450 и 600...650 кгс.

Диафрагменные пневматические камеры бывают стационарные и вращающиеся. Применение вращающихся диафрагменных камер не только облегчает массу силового привода и уменьшает консольную нагрузку на шпиндель, но и снижает расход сжатого воздуха. На рис. 93 показан общий вид вращающегося патрона с применением диафрагменной камеры.

К камере *2* присоединяют распределительную муфту *1*, а в донышке камеры просверливают отверстие для поступления воздуха из муфты, при этом отверстие в штуцере *9* для обычной подачи воздуха заглушают. Камеру *2* крепят к планшайбе *3*, связанной ползунком *8* с тягой *7*. На задний конец шпинделя станка посажена планшайба *6*, которая посредством промежуточной планки *5* связана со штоком *4* пневматической камеры. При впуске воздуха в камеру диафрагма не деформируется в направлении планшайбы, так как через шток

Рис. 94.

диафрагма жестко связана с планшайбой, а зажимается заготовка в результате воздействия сжатого воздуха на заднюю стенку пневматической камеры, которая, перемещаясь назад, увлекает за собой тягу *7*.

При необходимости преобразования тянущей силы в толкающую применяют диафрагменную пневматическую камеру, жестко соединенную с задней планшайбой станка. Шток камеры непосредственно соединен с тягой. При необходимости увеличения силы зажима применяют комбинированные диафрагменные пневматические камеры. В этом случае устанавливают несколько камер, как показано на рис. 94.

В трехсекционную вращающуюся пневматическую диафрагменную камеру входят три сваренные между собой штампованные камеры, состоящие из крышки *4*, камеры *5*, резиновой диафрагмы *1* с шайбой *2*, уплотнения *7* и втулки *6*, сидящей на валу *9*. Кроме того, передняя камера сварена с диском *10*, которым камера центрируется и крепится к планшайбе *8*. На задний конец вала *9* надета распределительная муфта *3*. Для зажима детали сжатый воздух поступает через канал *А* и отверстия *В* в правые части камер, где получается общее давление, равное трехкратному давлению одной камеры. В целях экономии сжатого воздуха для отжима детали достаточно впустить его не во все три камеры, а лишь в крайнюю левую камеру через отверстие *Б*.

У с и л и т е л и. При малых размерах пневматических поршневых цилиндров и диафрагменных камер и при необходимости получения больших сил зажима заготовок в пневматических приспособлениях используют механизмы-усилители, которые увеличивают силу зажима и изменяют направление ее действия. В практике применяют рычажно-шарнирные, клиновые, эксцентриковые и винтовые усилители. Наиболее распространены рычажно-шарнирные усилители, схемы которых могут быть самыми различными, а применение их зависит от заданных условий.

§ 51. Пневмогидравлические и гидравлические приводы

При механизации и автоматизации производственных процессов в ряде случаев применяют большие зажимные усилия с постоянным давлением и надежностью зажимных устройств в эксплуатации. Этим требованиям наиболее отвечают гидравлические приводы, так как они могут развивать давление до 80 кгс/см^2 и выше, обладают практической несжимаемостью масла, т. е. могут применяться не только для управления силовыми механизмами, но и для точных перемещений рабочих органов станка и подвижных частей приспособлений. Масляная среда в системе обеспечивает надлежащую смазку силовых узлов и аппаратуры, а также исключает неполадки, присущие пневматическим системам в результате конденсации водяных паров (ржавчина и засорение). Кроме того, конструктивное исполнение гидравлических приводов при высоком давлении в системе позволяет применять рабочие цилиндры небольшого диаметра (20, 30, 40, 50 мм и более), что обеспечивает их компактность по сравнению с пневматическими приводами.

В пневмогидравлических приводах источником энергии служит сжатый воздух, в гидравлических — масло.

Пневмогидравлические приводы состоят из преобразователя повышающего давление, аппаратуры и рабочих гидроцилиндров, зажимающих обрабатываемую заготовку. Принципиальная схема такого привода показана на рис. 95. Привод представляет собой камеру, заполненную маслом. Шток *2* пневматического цилиндра, являющийся плунжером гидравлической системы, входит в камеру и вытесняет масло, давление которого передается рабочему плунжеру *1* привода, действующего на зажимное устройство.

Пневмогидравлические преобразования давления питаются сжатым воздухом, поступающим из сети, и по принципу работы подразделяются на преобразователи прямого и последовательного действия.

Преобразователь прямого действия состоит из блока с пневматическим и гидравлическим цилиндрами, а преобразователь последовательного действия состоит из двух блоков с пневматическим и гидравлическим цилиндрами, причем вначале срабатывает первый блок (низкого давления), обеспечивающий предварительное закрепление обрабатываемой заготовки, а затем второй блок (высокого давления), осуществляющий окончательный зажим заготовки.

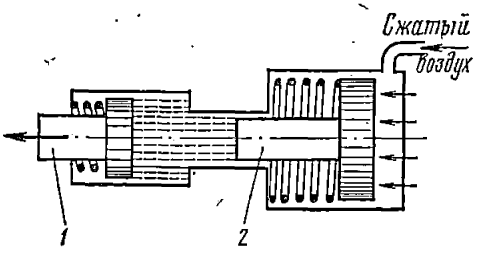


Рис. 95.

Применение преобразователей сокращает потребление сжатого воздуха по сравнению с обычными пневматическими приводами на 90...95%.

На рис. 96, *а* показан общий вид пневмогидравлического привода для тисков с преобразователем *прямого действия*. При нажиме ногой на распределительный кран *1* сжатый воздух поступает в полость цилиндра *2*, который жестко связан шпильками *5* с неподвижной губкой *8* тисков. Шток *4* гидроцилиндра давит на торец скользящего на шпильках *5* стакана *3* и перемещает его справа налево. Стакан перемещает гайку *7* с винтом *10*, а вместе с ним и подвижную губку *9* тисков.

При переключении распределительного крана воздух уходит в атмосферу, а пружина, заключенная в стакан *6*, отводит подвижную губку; две другие пружины возвращают в исходное положение поршни. Тиски устанавливают на размер обрабатываемой детали вращением винта *10*.

На рис. 96, *б* показан общий вид пневмогидравлического привода для тисков с преобразователем *последовательного действия*. В этой конструкции губка *2* тисков неподвижная, а губка *3* перемещается штоком поршня *4* гидроцилиндра. Из четырехходового распределительного крана *11* сжатый воздух через штуцер *9* подается в полость *А* цилиндра низкого давления и перемещает поршень *5* вправо. Под

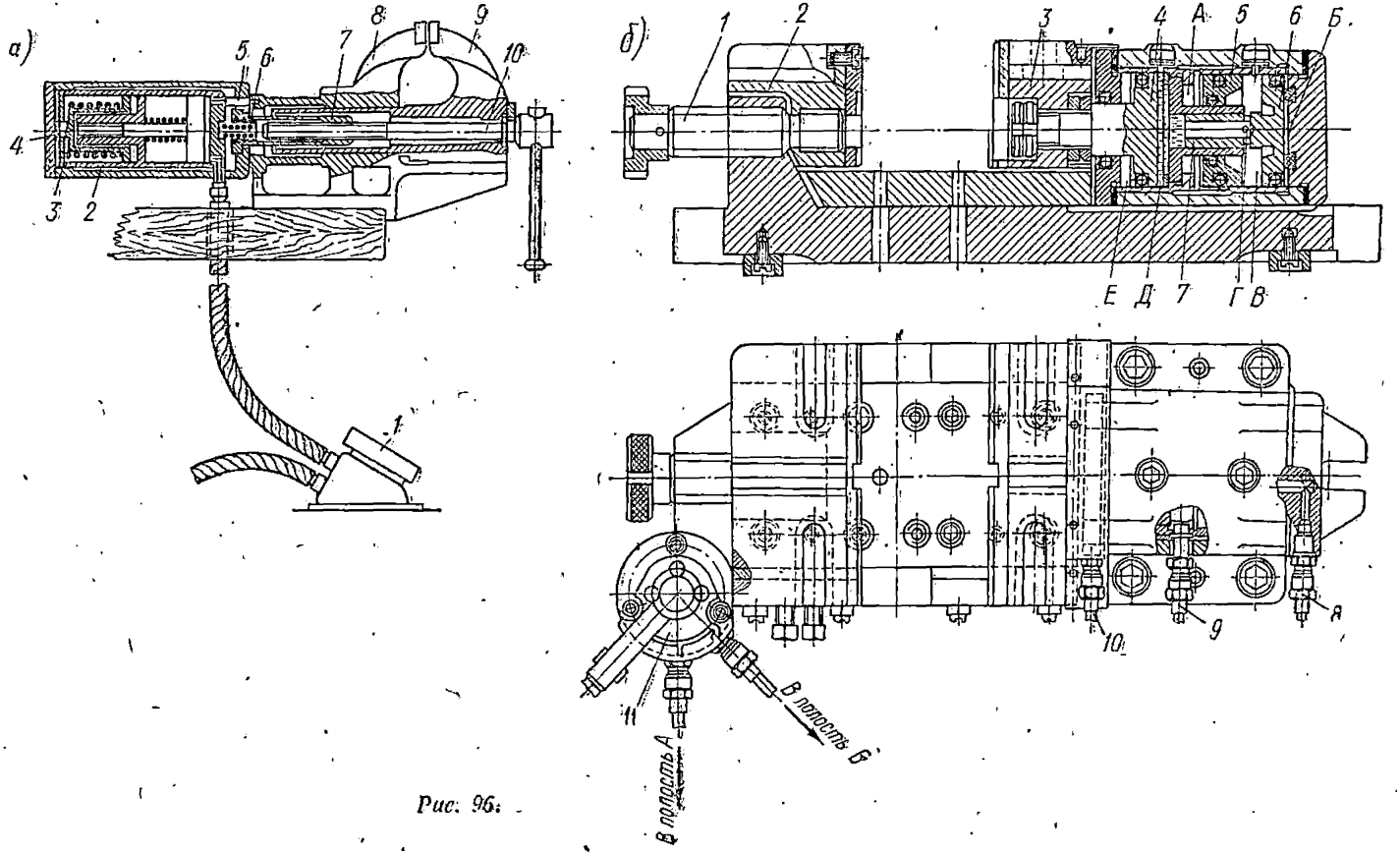


Рис. 96.

давлением поршня масло из полости *В* через радиальные отверстия *Г* поступает в полость *Д* и перемещает поршень *4* вместе с губкой *3*, осуществляя предварительный зажим установленной в тисках обрабатываемой заготовки. Переключение крана осуществляется посредством штуцера *8*, через который подается воздух в полость *Б*. При перемещении поршня *6* с плунжером *7* цилиндра высокого давления влево отверстия *Г* перекрываются, давление в полости *Д* повышается и происходит окончательный зажим заготовки с усилием в 750 кгс.

Чтобы снять обработанную заготовку, сначала сжатый воздух путем переключения крана подают в полость *А* и возвращают поршни *5* и *6*, а также поршень *4* гидроцилиндра вместе с губкой *3* в исходное положение, а затем в полость *Е*, откуда через штуцер *10* воздух возвращают в систему. Установку на размер выполняют вращением винта *1*.

Гидравлический привод представляет собой независимую гидравлическую установку, состоящую из электродвигателя, насоса, резервуара для масла, а также аппаратуры управления и регулирования. Эта установка в зависимости от мощности может обслуживать один станок, группу или целый участок.

В гидрофицированных станках предусматривают специальные отводы от основной гидросистемы для подачи масла в систему обслуживания.

На рис. 97 показан разрез гидроцилиндра для зажима обрабатываемых заготовок на токарных и револьверных станках. Гидроцилиндр состоит из статора (корпуса) с укрепленными на нем упором *2*, крышками *7* и *10* и однолопастного ротора *3* с лопаткой *4*, установленного и закрепленного с помощью двух шпонок на гайке *9*. Гайка, смонтированная в статоре на двух конических роликоподшипниках *13*, связана с винтом *11*, во внутреннюю резьбу которого ввинчена трубка *12*, соединяющая гидроцилиндр с патроном.

При подводе масла в левую или правую полость статора *1* ротор *3* с лопаткой *4* поворачивается до упора *2* и вращает гайку *9*, которая в свою очередь перемещает винт *11* с трубкой *12*; винт скользит в шлицевом отверстии крышки *10* статора. Масло по резиновым шлангам подводится к приемной муфте *5*, установленной на двух шарикоподшипниках, смонтированных на валике *6*. Валик запрессован в крышку *7* статора и имеет каналы для прохода масла в левую или правую полость статора. Так как приемная муфта *5* не вращается, то в ее сопряжении с валиком *6*, вращающимся вместе с цилиндром предусмотрена посадка с зазором, рассчитанным на некоторую минимальную утечку масла.

Все подшипники качения смазываются за счет утечек маслом, которое скапливается в прикрепленном к муфте *5* кожухе *8* и по маслопроводу отводится в бак гидроагрегата.

Зазор и отсутствие в маслораспределителе трущихся поверхностей скольжения позволяют вести обработку с большой частотой вращения шпинделя.

Гидроагрегат с электродвигателем и насосом включают только при остановленном станке, а созданное на кулачках патрона зажимное

усилие сохраняется в процессе обработки благодаря самоторможению винтовой пары (детали *9* и *11*). Для предупреждения одновременного включения электродвигателей станка и насоса предусмотрена электроблокировка.

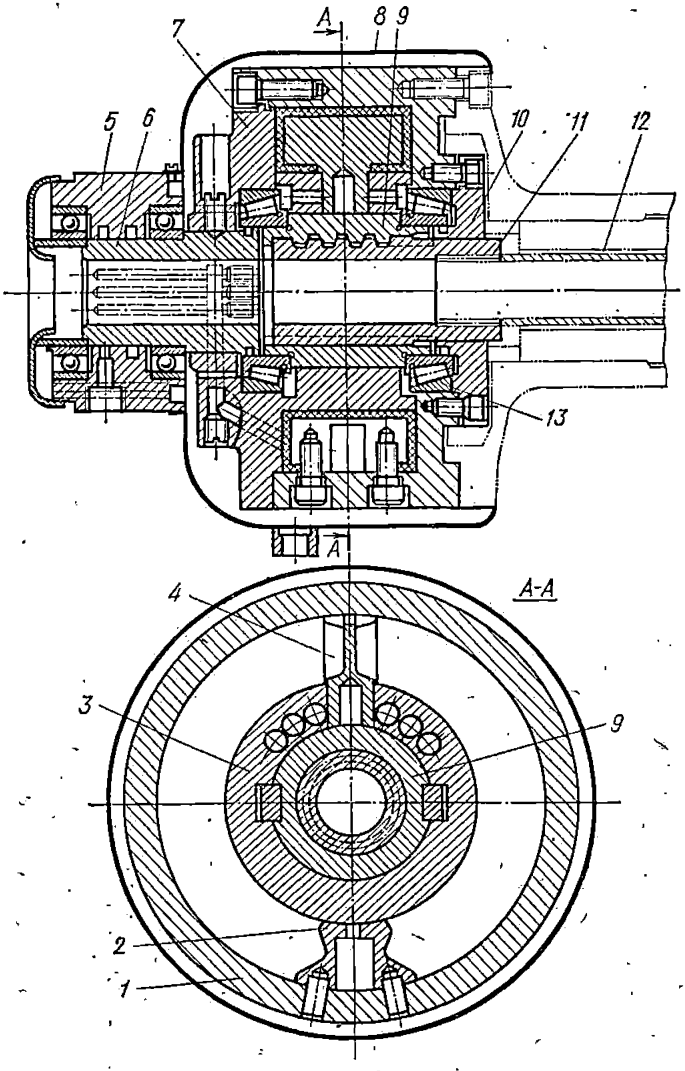


Рис. 97.

Применяющиеся в станочных приспособлениях гидроцилиндры нормализованы и подразделяются на цилиндры, встраиваемые в конструкцию приспособлений, и цилиндры агрегатированные. Цилиндры первой группы в зависимости от способа их крепления с корпусом приспособления делятся на пять типов: с резьбовым креплением,

с креплением лапками, с шарнирным креплением (качающиеся цилиндры), с задним и передним фланцевым креплениями. Каждый вид цилиндров выполняется двустороннего и одностороннего действия с возвратной пружиной. Диаметры цилиндров (40, 50 и 60 мм) также нормализованы с ходом поршня 10 и 50 мм.

Глава XVIII
УНИВЕРСАЛЬНО-СБОРНЫЕ И НАЛАДОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

В связи с интенсивным развитием конструкций машин и механизмов основными направлениями осуществления эффективной технологической подготовки производства в современном машиностроении являются сокращение сроков подготовки и повышение коэффициента оснащенности * для роста производительности труда и снижения себестоимости при обеспечении повышающихся требований к качеству поверхностей и точности обработки и сборки.

Решению этих задач в значительной степени содействуют стандартизация деталей и сборочных единиц приспособлений, а также применение системы универсально-обратимых приспособлений: универсально-сборных (УСП) и универсально-наладочных (УНП), состоящих из набора элементарных деталей, позволяющих компоновать различные приспособления для разнообразных работ.

Стандартизация приспособлений предусматривает унификацию их общих конструктивных и размерных элементов (размерных рядов, габаритных и присоединительных размеров, резьбы, крепежных деталей, шпоночных соединений и т. д.), посадок и допусков, установочных и зажимных элементов, корпусов, вспомогательных механизмов (делительные, поворотные и др.). Применение стандартизованных деталей и сборочных единиц приспособлений сокращает их номенклатуру и объем конструкторских работ, снижает себестоимость их изготовления и повышает кратность их применения для повторного использования при сборке новых приспособлений. В настоящее время свыше 70% стандартизованных деталей применяют при конструировании и изготовлении приспособлений.

Стандартизация деталей и узлов привела к созданию конструкций сборно-разборных приспособлений. В настоящее время в СССР и за рубежом известно несколько систем сборно-разборных приспособлений; все они характеризуются общим признаком: комплект стандартизованных деталей и сборочных единиц позволяет создавать без существенной механической дообработки и при весьма малом количестве специально изготовляемых деталей временные, легко поддающиеся сборке и разборке компоновки приспособлений. В набор элементарных деталей входят плиты и планшайбы, подставки, призмы, угольники, планки, втулки, прихваты и другие детали (рис. 98).

Система универсально-сборных приспособлений (УСП) с успехом применяется на ряде заводов единичного и серийного производства.

* Коэффициент оснащенности — это отношение количества наименований применяемых оригинальных приспособлений (или модификаций переналаживаемой оснастки) к числу оригинальных деталей в машине или механизме.

Комплектами УСП (табл. 15) оснащают сверлильные, токарные, фрезерные, расточные, зубодолбежные, шлифовальные и другие виды обработки, а также сварочные работы и операции контроля. При станочных работах с помощью УСП обрабатывают детали размерами 2500 × 2500 × 1000 мм.

Стандартизованные взаимозаменяемые детали и сборочные единицы УСП соединяют между собой в процессе сборки с помощью шпонок, шпилек и болтов с Т-образными головками. Основные детали

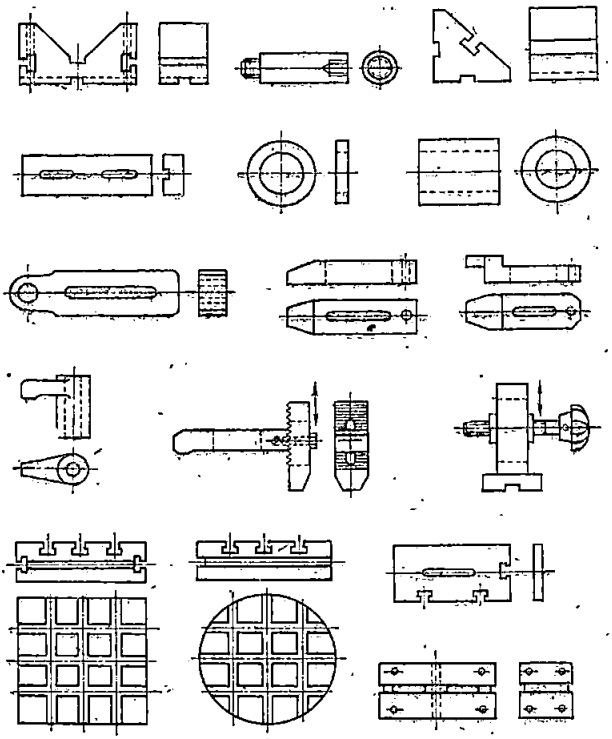


Рис. 98.

УСП (базовые и опорные) имеют на рабочей поверхности прямоугольную или радиальную сетку шпоночных Т-образных пазов, стандартная ширина которых равна 8, 12 и 16 мм с допускаемыми отклонениями от параллельности и перпендикулярности не более 0,01 мм на 200 мм длины. Пазы и шпонки позволяют точно сочленять различные детали комплекта в любом положении относительно друг друга. Наиболее ответственные соединения выполняют с помощью четырех крестообразно размещенных в пазах шпонок.

Благодаря применению конструкционных материалов и повышенной точности обработки детали УСП обладают большой износостойкостью. Долголетняя практика заводов показала, что срок службы всех основных (по трудоемкости и стоимости) деталей может быть

доведен до 10 лет и более. Выходят из строя обычно только крепежные детали, замена которых вызывает небольшие затраты.

Таблица 15. Техническая характеристика комплекта УСП

Показатели, характеризующие комплекты УСП	Универсально-сборные приспособления		
	с пазами 8 мм (УСП-8)	с пазами 12 мм (УСП-12)	с пазами 16 мм (УСП-16)
Количество деталей и сборочных единиц в комплекте, шт.	4100	2400	4200
Стоимость комплекта (в ценах 1973 г.), тыс. руб.	12,5	19,2	50,0
Среднее количество сборок, собираемых из одного комплекта, шт.:			
одновременно	30	20	20
в течение года	1800	1400	900
Среднее время сборки одного комплекта, ч	2	3	4
Максимальная масса обрабатываемых деталей, кг	5	60	3000
Срок службы комплекта, годы	12...15	12...15	12...15
Максимальные габариты обрабатываемых деталей или сборочных единиц, мм	200 × 120 × 100	700 × 400 × 800	2500 × 2500 × 1000
Максимальный диаметр обрабатываемых деталей, мм	12	38	70
Диаметр основного крепежного болта	М-8	М-12	М-16
Точность обработки в приспособлении	2-й класс	2-й класс	2-й класс
Среднеэкономический эффект, получаемый от эксплуатации одной сборки, руб.	15	25	60

Сборку приспособлений из деталей и сборочных единиц УСП только в редких случаях (при особо сложных компоновках) производят по чертежу общего вида приспособления с указанием основных базовых размеров между опорными плоскостями. Как правило, компоновки УСП создаются слесарями-монтажниками непосредственно в металле на основании данных карты технологического процесса или эталона детали. Сборка приспособления средней сложности занимает 1...3 ч. Практикой установлено, что один сборщик за одну смену может разобрать и собрать 4...5 приспособлений. На рис. 99 показана монтажная схема УСП для сверлильных работ (*1* — базовая плита; *2* — опорные элементы; *3* — направляющая опора; *4* — кондукторные планки; *5* — гайки; *6* — сменные кондукторные втулки; *7* — съемные шпонки; *8* — болты, *9* — опорная планка; *10* — установочный палец; *11* — быстросъемная шайба).

Внедрение системы УСП там, где ее применение рационально, сопровождается значительным сокращением цикла и сроков проек-

тирования и изготовления оснастки, экономией на чертежно-конструкторских работах по проектированию оснастки, снижением трудоемкости изготовления оснастки для осваиваемого изделия, экономией металла.

В основу системы УСП положена идея постоянного кругооборота стандартизованных деталей и сборочных единиц. Длительное «омертвление» деталей в собранных и временно не используемых компоновках недопустимо, так как вызывает необходимость увеличения объема дорогостоящего комплекта деталей УСП. Компоновки после окончания обработки партии изделий должны разбираться, а детали и

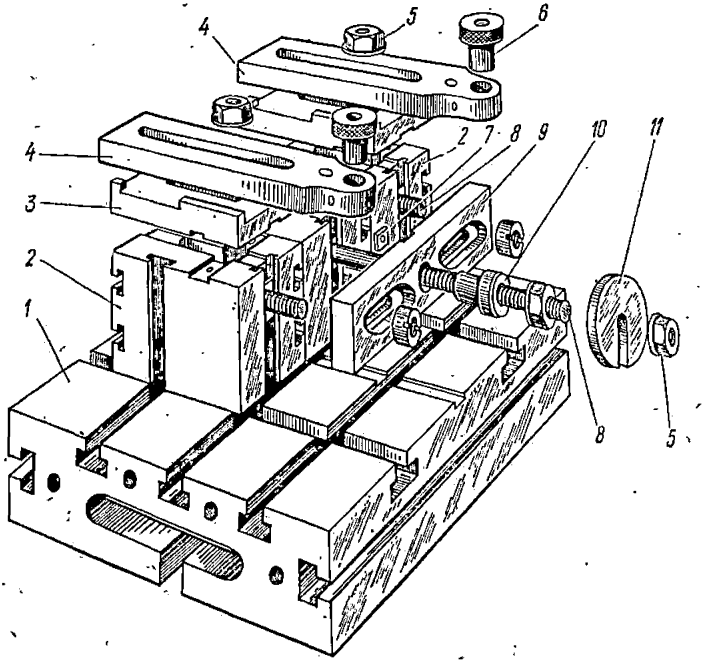


Рис. 99.

сборочные единицы использоваться для сборки других приспособлений или для повторной сборки уже применявшихся компоновок, если возникла необходимость в изготовлении партии ранее обрабатываемых деталей.

К недостаткам УСП следует отнести пониженную жесткость из-за большого количества стыков.

Система универсально-наладочных приспособлений (УНП) основана на агрегатировании сборочных единиц или на замене и наладке (регулировке) отдельных элементов базового приспособления. В обоих случаях осуществляется принцип обратимости, т. е. возможность использования одного и того же приспособления для выполнения различных операций и обработки разных деталей. При обработке мелких деталей применяют сменные кассеты, которые предназначаются

для установки деталей определенного типоразмера. Перезарядка УНП осуществляется заменой кассеты.

Быструю переналадку приспособления без снятия его со станка осуществляют также заменой установочных и зажимных устройств. Так, машинные тиски могут быть переналажены для закрепления различных заготовок путем смены губок, а патроны — сменных кулачков; стандартизованные скальчатые кондукторы путем смены плит с установочными элементами и направляющими втулками легко переналаживаются для операций сверления в деталях различного типоразмера.

В качестве примера на рис. 100 показан универсально-переналаживаемый кондуктор портального типа с пневматическим зажимом. Дальнейшим развитием УНП является комбинированные универсально-наладочные приспособления для одновременной установки нескольких заготовок при обработке по групповому методу.

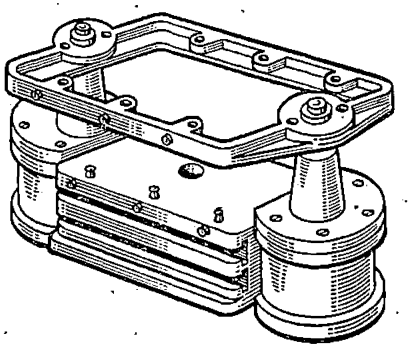


Рис. 100.

Применением комбинированных УНП обеспечиваются лучшее использование фонда времени работы оборудования и снижение себестоимости обработки. В системе УНП базовые приспособления стандартизованы, тогда как сменные элементы — наладки — изготовляют в соответствии с конфигурацией обрабатываемых деталей.

Для каждого вида механической обработки обычно стандартизовано несколько конструкций корпусных агрегатов базовых приспособлений. Все они имеют посадочные места для установки сменных наладок. Каждое базовое приспособление совместно с последовательно сменяемыми наладками, служащими для установки заготовок, образует группу модификаций одного УНП. Большинство базовых приспособлений имеет несколько типоразмеров, составляющих конструктивный ряд. Каждый типоразмер предназначен для обработки подходящих по своим размерным параметрам заготовок. Конструктивный ряд данного типоразмера позволяет закреплять и обрабатывать заготовки различной конфигурации, классифицированные в одну технологическую группу. Таким образом, применение УНП организационно увязывается с типизацией обрабатываемых деталей и внедрением типовых технологических процессов.

В тех случаях, когда за одним станком закрепляется несколько базовых приспособлений, имеется возможность агрегатирования с силовым приводом, устанавливаемым на станке отдельно.

Если за станком закрепляется одно базовое приспособление и загрузка станка заготовками всей запланированной номенклатуры обеспечивается благодаря последовательной смене наладок, агрегатирование базового приспособления с силовым приводом теряет смысл.

В этом случае более целесообразно встраивать стандартизованные силовые сборочные единицы в корпус базового приспособления и создавать комплектный агрегат; агрегатируемыми тогда остаются только сменные наладки.

Глава XIX
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

Исходными данными для проектирования приспособлений являются: рабочие чертежи заготовки и готовой детали и технические условия ее приемки; операционный эскиз заготовки на предшествующую и выполняемую операции (если приспособление конструируют для промежуточной операции); карта (или описание) технологического процесса обработки данной заготовки с указанием последовательности и содержания операций, принятого базирования, используемого оборудования и инструмента, режимов резания, а также проектной нормы штучного времени с выделением вспомогательного времени на установку, закрепление и снятие заготовки; ГОСТы и нормали на детали и узлы станочных приспособлений, а также альбомы нормализованных конструкций приспособлений.

При проектировании выбирают конструкции и размеры установочных элементов приспособления, определяют величину необходимой силы зажима и уточняют схему и размеры зажимного устройства; определяют размеры направляющих элементов, затем производят общую компоновку приспособления и устанавливают допуски на изготовление деталей и технические условия на сборку.

Конструирование приспособления должно быть увязано с разработкой технологического процесса изготовления детали, так как при разработке процесса выбирают технологические базы, устанавливают маршрут обработки с указанием промежуточных размеров и допусков на них, уточняют содержание технологических операций и разрабатывают эскизы обработки, дающие представление об установке и закреплении заготовки, устанавливают режимы резания, определяют штучное время на операцию по элементам, выбирают режущий инструмент, а также тип и модель станка.

Кроме того, необходимо знать основные размеры станка, связанные с установкой приспособления (размеры стола, размеры и расположения Т-образных пазов, наименьшее расстояние от стола до шпинделя, размер конуса шпинделя и т. п.), и общее состояние станка. В зависимости от производственных возможностей и программы выпуска выбирают конструкцию приспособления, а также решают вопрос о применении сменных быстроизнашиваемых деталей приспособления.

Последовательность конструирования предусматривает вначале уточнение схемы установки. Зная принятое базирование, точность и шероховатость базовых поверхностей, определяют тип и размер установочных элементов, их количество и взаимное положение.

Определив по заданным режимам обработки силы резания, устанавливают место приложения зажимных сил и определяют их величину. Исходя из запроектированного времени на закрепление и снятие

заготовки, типа приспособления (одно- и многоместное), конфигурации и точности заготовки, а также величины зажимных сил, выбирают тип зажимного устройства и определяют его основные размеры. Одновременно устанавливают тип и размер направляющих элементов и элементов контроля положения режущего инструмента.

Затем выбирают необходимые вспомогательные устройства и устанавливают их конструкции и размеры, исходя из массы заготовки, вида и требуемой точности обработки. При выборе конструкции и размеров этих элементов используют нормали и стандарты.

Разработку общего вида приспособления начинают с нанесения на лист контура заготовки. В зависимости от сложности его схемы вычерчивают несколько проекций заготовки. Заготовку целесообразно показывать условными линиями (тонкие линии или штрих-пунктир), чтобы она выделялась на чертеже приспособления. После этого последовательно наносят отдельные элементы приспособления вокруг контуров заготовки. Сначала вычерчивают установочные элементы (опоры), затем зажимные устройства, направляющие элементы инструмента и вспомогательные устройства, затем определяют контуры корпуса приспособления.

На общем виде приспособления указывают его габаритные размеры и размеры, которые нужно выдерживать при сборке приспособления, а также технические требования к его сборке.

При вычерчивании общего вида и рабочих чертежей устанавливают допуски на размеры приспособления. По точности исполнения эти размеры можно разбить на три группы. К первой группе относятся размеры тех сопряжений, от которых зависит точность выполняемой обработки (например, расстояние между осями кондукторных втулок при сверлении). Неточность этого размера влияет на расстояние между осями просверленных в заготовке отверстий. К первой группе относятся также размеры установочных элементов. От точности выполнения их зависит положение заготовки в приспособлении. Во вторую группу входят размеры тех сопряжений, от погрешностей которых точность обработки не зависит (например, размеры сопряжений зажимных устройств, выталкивателей и других вспомогательных механизмов). К третьей группе относятся свободные размеры обрабатываемых и черных поверхностей.

Допуски на размеры первой группы в 2...3 раза меньше допусков на размеры заготовки, выдерживаемые при обработке. Допуски на размеры второй группы назначают в зависимости от характера и условий работы сопряжения. Обычно они соответствуют 2...3-му классам точности. Свободные размеры выполняют по 7-му классу точности для обработанных и по 9-му классу для необработанных поверхностей.

Для определения экономичности приспособлений обычно сопоставляют различные их конструктивные варианты для данной операции. Принимая одинаковыми расходы на режущий инструмент, амортизацию станка и электроэнергию, при осуществлении этих вариантов определяют и сопоставляют элементы себестоимости обработки, зависящие от конструкции приспособления; себестоимость C в рублях

можно определить по следующей формуле:

$$C = З_{шт}\left(1 + \frac{Н_ц}{100}\right) + \frac{З_{пр}}{П}\left(\frac{1}{А_{пр}} + \frac{Р_{пр}}{100}\right),$$

где $З_{шт}$ — зарплата станочника, отнесенная к одной детали, руб.; $Н_ц$ — цеховые расходы, %; $З_{пр}$ — затраты на изготовление приспособления, руб; $П$ — годовая программа выпуска деталей, шт.; $Р_{пр}$ — расходы, связанные с применением приспособлений (ремонт, содержание, регулировка), %; $А_{пр}$ — срок амортизации приспособления, год.

Для определения $З_{шт}$ нужно знать штучное время данной операции $Т_{шт}$ и минутную ставку зарплаты рабочего $З_{ст}$:

$$З_{шт} = Т_{шт}З_{ст}.$$

Однако точные значения затрат на изготовление приспособления можно определить на основе калькуляции только после составления рабочих чертежей и разработки технологических процессов изготовления приспособлений. Поэтому можно пользоваться приближенным способом определения затрат на изготовление приспособлений $З_{пр}$ по формуле

$$З_{пр} = nK,$$

где n — количество деталей в приспособлении; K — постоянная, зависящая от сложности приспособления; для простых приспособлений $K = 15$, для приспособлений средней сложности $K = 30$ и для сложных приспособлений $K = 40$.

Величину $А_{пр}$ принимают равной сроку в годах, в течение которого конструируемое специальное приспособление будет использовано для выпуска заданной продукции. Если производимая продукция носит постоянный характер, то для простых приспособлений $А_{пр}$ равно одному году, для приспособлений средней сложности — от 2 до 3 лет и для сложных приспособлений — от 4 до 5 лет. Величину $Р_{пр}$ берут равной 20%.

Раздел третий
МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСНОВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Глава XX
КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВА И ТИПИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Основными обрабатываемыми поверхностями деталей машин являются: наружные и внутренние поверхности тел вращения, плоские поверхности, резьбовые и шлицевые, зубчатые и сложные поверхности.

На схеме 3 приведена классификация элементарных обрабатываемых поверхностей по геометрическим и конструктивным признакам. Эта классификация положена в основу кодирования при автоматизации проектирования технологических процессов.

Обработка этих видов поверхностей, как правило, регламентирована определенными способами и методами их изготовления, для чего детали группируют по конструктивным признакам, размерностям, массе и общности технологического процесса их изготовления на классы, характеризующие технологическую классификацию.

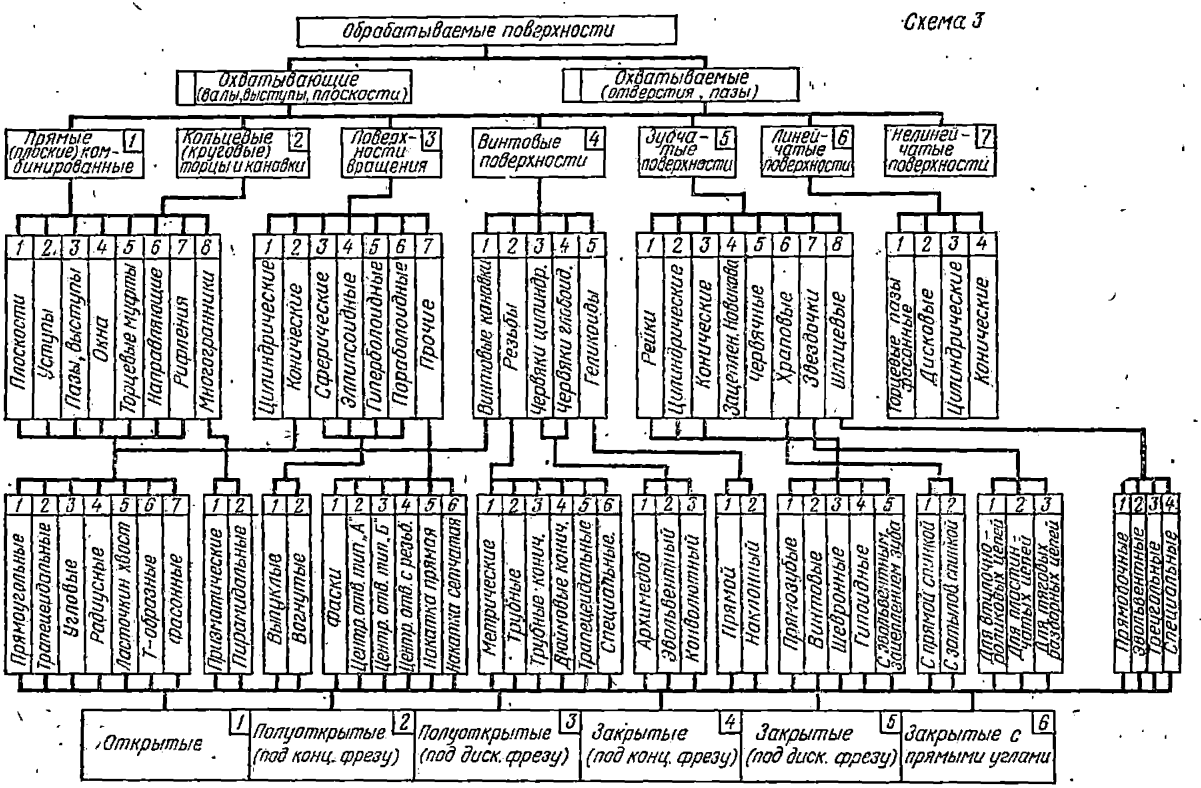
Основоположником классификации деталей по конструктивно-технологическим признакам является проф. А. П. Соколовский, посвятивший этому вопросу ряд трудов. По классификации проф. А. П. Соколовского все детали сгруппированы в 15 классов: 1) валы; 2) втулки; 3) диски; 4) эксцентриковые детали; 5) крестовины; 6) рычаги; 7) плиты; 8) шпонки; 9) стойки; 10) угольники; 11) бабки; 12) зубчатые колеса; 13) фасонные кулачки; 14) ходовые винты и червяки; 15) мелкие крепежные детали.

В настоящее время наибольшее распространение получили следующие принципы классификации: многостепенный, технологический операционный и поэлементный.

Многостепенный принцип классификации обеспечивает систематизацию реальных деталей. Технологический операционный используется предприятиями, внедряющими групповую обработку на отдельных операциях; включение детали в ту или иную классификационную группу определяется ведущей операцией, которая характеризуется однотипным оборудованием, общим приспособлением и настройкой станка. Особенностью поэлементного принципа является то, что каждый знак классификационного кода независимо от других характеризует закрепленный за ним признак детали.

Так как классификация преследует цель приведения большого разнообразия деталей к ограниченному числу типов с общностью

Схема 3


Обрабатываемые поверхности
Охватывающие (валы, выступы, плоскости)
Охватываемые (отверстия, пазы)
Прямые (плоские) комбинированные 1
Кольцевые (круговые) торцы и канавки 2
Поверхности вращения 3
Винтовые поверхности 4
Зубчатые поверхности 5
Линейчатые поверхности 6
Нелинейчатые поверхности 7
Плоскости
Уступы
Пазы, выступы
Окна
Торцевые муфты
Направляющие
Рифления
Многогранники
Цилиндрические
Конические
Сферические
Эллипсоидные
Гиперболоидные
Параболоидные
Прочие
Винтовые канавки
Резьбы
Червяки цилиндр.
Червяки глобоид.
Геликоиды
Рейки
Цилиндрические
Коническое
Зацеплен. Новикова
Червячные
Храповые
Звездочки
Шлицевые
Торцевые пазы эксцентр.
Дисковые
Цилиндрические
Конические
Прямоугольные
Трапецеидальные
Угловые
Радиусные
Ласточкин хвост
Т-образные
Фасонные
Призматические
Пирамидальные
Выпуклые
Вогнутые
Фаски
Центр. отв. тип А
Центр. отв. тип Б
Центр. отв. с резьб.
Накатка прямая
Накатка сетчатая
Метрические
Трубные
Трубные конич.
Упорные
Трапецеидальные
Специальные
Архимедов
Эвольвентный
Конволютный
Прямой
Наклонный
Прямозубые
Винтовые
Шевронные
Гипоидные
С эвольвентным зацеплением зуба
С прямой спинкой
С затылованной спинкой
Для втулочно-роликовых цепей
Для пластинчатых цепей
Для тяговых вертлюжных цепей
Плавающие
Эвольвентные
Треугольные
Специальные
Открытые 1
Полуоткрытые (под конц. фрезу) 2
Полуоткрытые (под диск. фрезу) 3
Закрытые (под конц. фрезу) 4
Закрытые (под диск. фрезу) 5
Закрытые с прямыми углами 6

технологических процессов, то определение признаков классификации должно осуществляться путем анализа всех факторов, влияющих на структуру технологического процесса. Для механообрабатываемых деталей объективными признаками классификации являются конструктивные, технологические и пр. К конструктивным относятся геометрическая форма, характеристика отдельных элементов детали и их взаимное расположение, размерная характеристика, классы точности и шероховатости поверхности, общность материала, чистый вес (масса) детали, вид химико-термической обработки и вид покрытия. К технологическим относятся вид обработки, характер заготовки, общность и вид оборудования, общность средств технологического оснащения, базы и поверхности базирования, черный вес (масса) заготовки, последовательность технологических операций и режимы резания. К прочим относятся объем производственного задания, тип производства, степень повторяемости, преемственность средств технологического оснащения и отраслевая специфика деталей.

Факторы, влияющие в наибольшей степени на технологический процесс, будут тождественны признакам, которые и необходимо учитывать при классификации деталей.

Система классификации неразрывно связана с методом типизации технологических процессов. Признаки классификации зависят от того, какую общность технологического процесса имеют рассматриваемые детали. Например, признаки классификации деталей, обрабатываемых по методу технологической последовательности и по групповому методу, будут различными. В Единой системе технологической подготовки производства (ЕСТПП) наиболее предпочтительным является метод технологической последовательности, так как он дает комплексное решение технологических вопросов по всему процессу изготовления объекта производства.

На рис. 101 приведен чертеж фланцевой втулки, рассмотренный в качестве примера для формирования конструкторско-технологического кода этой детали, обрабатываемой резанием с анализом признаков, положенных в основу кодирования * (табл. 16). Методика кодирования, предусмотренная этой системой, позволяет использовать ее для обработки информации с помощью средств вычислительной техники.

В табл. 17 приведен пример декодирования и укрупненного анализа значения конструкторско-технологических признаков данной детали применительно к изготовлению в мелкосерийном производстве.

Типизация технологических процессов вносит единообразие в технологию изготовления деталей данного класса, сокращает количество различных вариантов обработки до минимума с учетом вида производства, вносит элементарный порядок в разработку технологического процесса, сокращает сроки подготовки производства, повышает качество технологического процесса, позволяет применять оборудование и оснастку на базе типовых схем и унифицирован-

* Кодирование выполнено по «Технологическому классификатору деталей машиностроения и приборостроения». Ч. I. М., Изд-во стандартов, 1974.

ных сборочных единиц, а также создает предпосылки для сравнения уровня технологии производства в различных отраслях машиностроения.

Определяя класс как совокупность деталей, характеризуемых общностью технологических задач, решаемых в условиях определенной конфигурации этих деталей, А. П. Соколовский исходил из поло

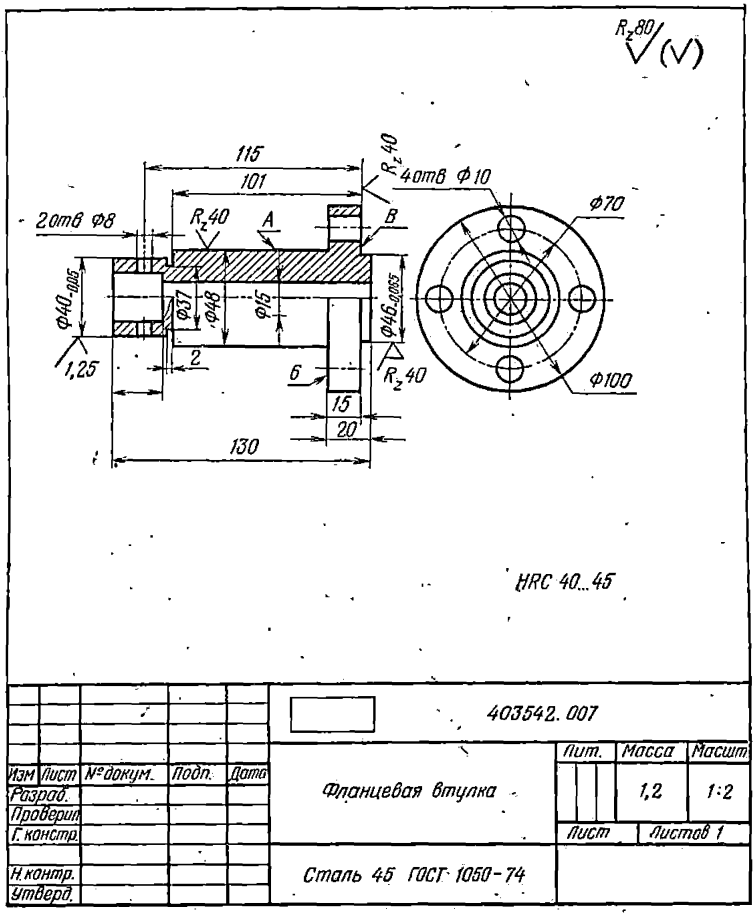


Рис. 101.

жений, согласно которым технологический процесс определяют форм и размеры детали, точность и качество обработки поверхностей, мат риал детали, объем выпуска и характер производства (состояние обор дования, инструментальной базы и др.).

Проф. Ф. С. Демьянюк в качестве основных факторов, определяю щих технологический процесс, приводит размерность детали, объ выпуска, способ получения заготовки и форму детали. Считая основ класса форму деталей и идентичность процессов их изготовлени

Таблица 16. **Формирование конструкторско-технологического кода**

Обозначение детали

Код организации-разработчика

403542 007

Код классификационной группировки конструктивных признаков:
Деталь общемашиностроительного применения — тело вращения*

Порядковый регистрационный номер (условный)

Основные признаки технологической классификации детали

А63 02 4

Размерная характеристика, мм:
наибольший наружный диаметр 100
длина 130
диаметр центрального отверстия 15

Группа материала — сталь углеродистая конструкционная (сталь 45 ГОСТ 1050—74)

Вид детали по технологическому процессу — деталь, обрабатываемая резанием

Технологическая классификация детали, обрабатываемой резанием

31 2 4 3 0 2 9

Вид исходной заготовки — пруток круглый некалиброванный

Класс точности размеров наружных поверхностей — 2-й

Класс точности размеров внутренних поверхностей — 7-й

Шероховатость наружных поверхностей — ∇ 1,25 (7)

Характеристика элементов зубчатого зацепления — без элементов зубчатого зацепления

Характеристика термической обработки — термообработка HRC 40...45

Весовая характеристика — масса 1,2 кг

Конструкторско-технологический код детали

403542 А63024.31243029

Код конструкторской классификационной группировки | Технологический код детали

Полный конструкторско-технологический код детали

.403542.007.А63024.31243029

* С $l < 2d$, с наружной поверхностью цилиндрической, с двусторонним уступом; без наружной резьбы, с центральным сквозным цилиндрическим отверстием с односторонним уступом, без кольцевых выемок на торцах, с дополнительным отверстием.

Таблица 17. Конструкторско-технологический код детали 403542.007.А63024.31243029

Код	Значение кода	Результат анализа
	Конструкторская характеристика	
40 3542	Деталь — тело вращения*	Основной вид обработки детали — обработка резанием. Основные операции технологического процесса: подрезка торцов и зацентровка; токарная и шлифовальная обработка наружной поверхности — обработка сквозного отверстия; сверление отверстий
	Технологическая характеристика	
А63	Габаритные размеры детали, мм: наибольший наружный диаметр . . . 95...120 длина . . . . . 120...150 диаметр центрального отверстия . . 10...20	По диапазонам размерных характеристик детали можно установить эксплуатационную характеристику оборудования, на котором целесообразно обрабатывать деталь
02	Материал детали — сталь углеродистая конструкционная с содержанием углерода 0,25...0,6%	Стали указанного химического состава отличаются хорошей обрабатываемостью, в том числе и резанием твердосплавным инструментом. С учетом характеристики станков шлифовальной группы, марки стали и твердости можно сделать выбор абразивного инструмента
4	Вид детали по технологическому процессу — деталь, обрабатываемая резанием	Данный код является связующим звеном основных признаков технологической классификации с признаками соответствующего раздела технологического классификатора
31	Исходная заготовка детали — пруток круглого сечения некалиброванный (горячекатаный)	Наружная поверхность детали подвергается обработке резанием в центрах. Технологический процесс при изготовлении детали из прутка содержит операцию отрезки с последующей подрезкой и зацентровкой заготовки
2	Наивысший класс точности размеров наружных поверхностей — 2-й, 2а	Наружные поверхности экономически выгодно обрабатывать шлифованием
4	Наивысший класс точности внутренних поверхностей — 4-й, 5-й	Точность поверхности центрального отверстия указанных классов может быть достигнута операцией сверления
3	Шероховатость наружных поверхностей — $\frac{1,25}{\nabla}$ (7)	Шероховатость цилиндрических поверхностей данного класса, так же как и точность цилиндрических поверхностей 2-го класса, достигается чистовым или тонким шлифованием

* С $l < 2d$, с наружной поверхностью цилиндрической, с двусторонним уступом; без наружной резьбы, с центральным сквозным цилиндрическим отверстием с односторонним уступом, без кольцевых выемок на торцах, с дополнительным отверстием.

Продолжение табл. 17

Код	Значение кода	Результат анализа
0	Деталь не имеет элементов зубчатого зацепления	Деталь не подлежит группированию с другими деталями, имеющими элементы зубчатого зацепления
2	Деталь подвергается термической обработке между механическими операциями, повышающими твердость до $38 < HRC < 52$	Наличие термообработки детали с повышенной твердостью $38 < HRC < 52$ обусловливает: использование абразивного инструмента на операциях, следующих за термической обработкой; изменение межцехового маршрута детали по сравнению с подобными деталями, не требующими термической обработки
9	Масса детали — 1...1,6 кг	Масса детали не требует специальных грузоподъемных устройств для установки и снятия детали со станка. Информация кода вместе с информацией о размере детали может быть использована для выбора тары и транспортных средств

Ф. С. Демьянюк рекомендует технологическую классификацию для машин среднего размера массой до 10 т из семи классов: 1) корпусные детали; 2) круглые стержни; 3) полые цилиндры; 4) диски; 5) некруглые стержни; 6) небольшие детали сложной формы и 7) крепежные детали.

Докт. техн. наук А. Я. Малкин за основу технологической классификации принимает регламентирование вида, количества и чередование технологических баз при обработке деталей установленных форм и размеров, а также увязывание выбора баз с однотипностью форм и размеров обрабатываемых деталей.

Технологическая классификация, предложенная А. Я. Малкиным, состоит из пяти классов: 1) детали вращения без отверстий по оси симметрии с отношением длины к диаметру от 2 до 20; 2) детали с поверхностями вращения, имеющие сквозные отверстия по оси симметрии; 3) детали с параллельными плоскостями, имеющие в них одно отверстие и точный наружный контур или два отверстия с параллельными осями в одной плоскости; 4) коробчатые детали и 5) сложные детали с несколькими осями симметрии. Такое деление в своей основе предусматривает использование в зависимости от типа контура детали вполне определенных баз по форме и характеру. Автор исходит из положения, что все поверхности (контуры), суммирующиеся вокруг одной оси симметрии для их возможного согласования, должны быть обработаны с одной установки (или при одном методе базирования) детали, в противном случае возникают погрешности базирования и погрешности закрепления.

Объединяющим началом для приведенных выше технологических направлений является общность целей и задач обоснования принци-

пов проектирования оптимальных технологических процессов, способствующих развитию общей теории технологии машиностроения.

Типизация технологических процессов осуществляется в двух взаимосвязанных направлениях: комплексных технологических процессов изготовления однотипных деталей (метод технологической последовательности) и отдельных операций обработки различных деталей (групповой метод).

Типовой процесс может быть о п е р а т и в н ы м, т. е. отражающим прогрессивное состояние технологии в настоящий момент, и п е р с п е к т и в н ы м, предусматривающим дальнейшее совершенствование производства с учетом развития науки и техники в области технологии.

Типовой технологический процесс, разработанный по методу технологической последовательности, состоит из типового маршрута изготовления классификационной группы деталей; типовых операций с указанием применяемого оборудования, последовательности выполнения операций (переходов обработки), приспособлений, режущего инструмента, методов и средств контроля, технически обоснованных режимов обработки и норм времени.

По методу технологической последовательности, как правило, обрабатывают сложные многооперационные детали. В основу метода положена группа деталей, для обработки которых требуются однотипное оборудование, общие приспособления и настройка станка.

Если при типизации технологических процессов по методу технологической последовательности деталь относится только к одной классификационной группе, то при типизации по групповому методу обработки одна и та же деталь может относиться к нескольким классификационным группам.

Групповой метод обработки может осуществляться тремя способами: обработка группы деталей на одном и том же типе оборудования; обработка группы деталей на разнотипном оборудовании, но с последовательной обработкой через все или по отдельным деталеоперациям группового технологического процесса; обработка объединенных деталей нескольких групп, имеющих общность технологического маршрута, выполняемого на разнотипном оборудовании.

Первый способ характерен для обработки одноопераційных деталей. По второму и третьему способам обработка обычно ведется на оборудовании, расположенном в порядке последовательности операций с применением на каждой операции групповых приспособлений и наладок, а если необходимо, то и специализированного оборудования, обеспечивающего после незначительной переналадки обработку партиями любых деталей данной группы.

Групповой метод основан на проектировании процессов обработки с наладкой для подобранной группы деталей по признакам конфигурации, размера и требований точности по так называемой комплексной детали, объединяющей в себе обрабатываемые элементы всей группы деталей. Действительные детали, каждая из которых проще комплексной, обрабатываются при этой наладке с пропуском отдельных инструментов и позиций, а также при незначительной переналадке.

Групповая обработка позволяет осуществлять в серийном производстве высокопроизводительные технологические методы изготовления деталей, присущие крупносерийному и массовому производству, и содействует повышению загрузки станков. Групповые наладки (оснастки) различных типов, подбираемых в зависимости от сочетания обрабатываемых поверхностей (наружных, внутренних, торцевых, плоских и т. п.), их размеров и расположения, сокращают время для переналадок.

На рис. 102, *а* показаны детали с небольшим объемом выпуска (партии), обрабатываемые на токарно-револьверном станке из пруткового материала (сталь 40), которые могут быть объединены в одну группу с использованием универсального переналаживаемого цангового патрона с базированием по наружной цилиндрической поверхности.

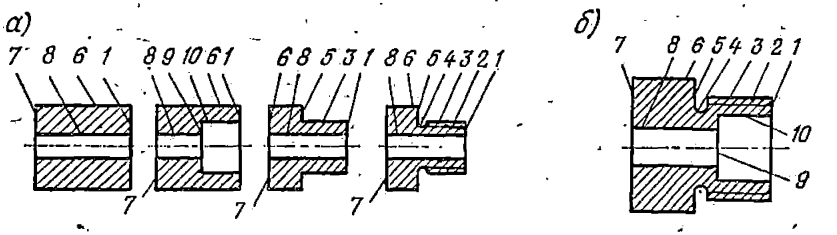


Рис. 102.

Комплексная деталь (рис. 102, *б*) должна иметь все поверхности данной группы деталей, а именно: наружная поверхность — цилиндрическая двухступенчатая с резьбой; отверстие — двухступенчатое. Применяя нумерацию поверхностей, составляют карту револьверной операции для комплексной детали. Так, на позиции *I* пруток подается до упора в торец *1*, который подрезается резцом, установленным в поперечном суппорте, затем на позициях *II* и *III* центруется и сверлится поверхность *8* с одновременным обтачиванием поверхности *6*. На позиции *IV* протачивается поверхность *3* и подрезается торец *5*. В позиции *V* зенкеруется отверстие поверхности *10* на длину до торца *9* и протачивается канавка *4* резцом, установленным в поперечном суппорте. На позиции *VI* нарезается резьбонарезной головкой резьба на поверхности *2* и отрезается деталь от прутка по поверхности *7* отрезным резцом, установленным в поперечном суппорте.

Пользуясь этой картой и основываясь на номерах обрабатываемых поверхностей, составляют план обработки каждой детали с занесением в него режимов резания, определенных для комплексной детали (режимы не для всех деталей будут оптимальными).

На токарно-револьверных станках групповые наладки могут применяться с использованием части позиций револьверной головки и суппорта для размещения инструмента, применяемого для обработки заготовок одной группы, а другой части позиций — для другой группы заготовок, при этом некоторые позиции могут быть использованы для обработки заготовок обеих групп.

Применяя многошпиндельные сверлильные головки на обычных сверлильных станках, также можно осуществить групповую наладку, используя часть шпинделей для обработки заготовок одной группы, а другую часть — для сверления отверстий в заготовках второй группы.

Групповая обработка значительно сокращает подготовительно-заключительное и вспомогательное время, так как групповая наладка имеет готовую документацию и оснастку, не требует сложных переналадок станка при обработке деталей одной группы с расчетными режимами резания, близкими к оптимальным.

Существенный вклад в развитие группового метода обработки внес докт. техн. наук, проф. С. М. Митрофанов, разработавший научные основы этого прогрессивного направления в технологии машиностроения.

Излагаемые далее методы обработки основных поверхностей деталей машин, а также методы обработки типовых деталей вытекают из основ типизации технологических процессов.

Глава XXI
ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ (ВАЛОВ)

§ 52. Выбор метода обработки наружных поверхностей заготовок

Поверхности тел вращения представляют собой наиболее распространенный вид обрабатываемых поверхностей заготовок, торцы которых подрезают или фрезеруют, а если по технологическому процессу намечена дальнейшая обработка заготовок в центрах, их центруют.

Центровые отверстия являются, как правило, установочными базами, и поэтому от точности их положения и исполнения зависит и точность обработки всех поверхностей заготовки. Для центрования применяют типовые наборы инструмента — спиральные сверла и конические зенковки, а также комбинированные центровочные сверла.

Центровые отверстия обрабатывают на токарных, револьверных, сверлильных и двусторонних центровальных станках. Однако наиболее производительным способом является их обработка на фрезерно-центровальном полуавтомате, предназначенном для последовательной обработки заготовки: сначала фрезерование торцов, а затем сверление центровочных отверстий.

Обрабатываемая заготовка устанавливается в приспособление и вместе с ним подается на фрезерные головки, после чего останавливается у сверлильных шпинделей для сверления центровочных отверстий. Станок работает по полуавтоматическому циклу.

В качестве технологических баз на этой операции используют наружные поверхности заготовки, устанавливаемой в призмы и торец. В полых заготовках после подрезки торца и обработки отверстия в них вводят пробки или оправки с зацентрованными отверстиями или на кромке отверстия снимают конические фаски, используемые в качестве технологических баз с последующим удалением их при отделочной обработке. Технологической базой при черновой обработке наружной

поверхности заготовки тела вращения (вала) являются поверхности центровых отверстий.

Черновую обработку наружных поверхностей выполняют как на обычных, так и на многорезцовых станках (в зависимости от вида производства).

Уменьшение машинного времени может быть достигнуто в результате применения трех основных технологических приемов: деления длины обработки, деления длины наибольшей ступени и деления величины припуска. Так, при обработке наружной поверхности трехступенчатого вала (рис. 103, *а*) на универсальном токарном станке расчетная длина l рабочего хода составит сумму длин этих ступеней ($l' + l'' + l'''$) плюс длина, необходимая для врезания и перебега резца.

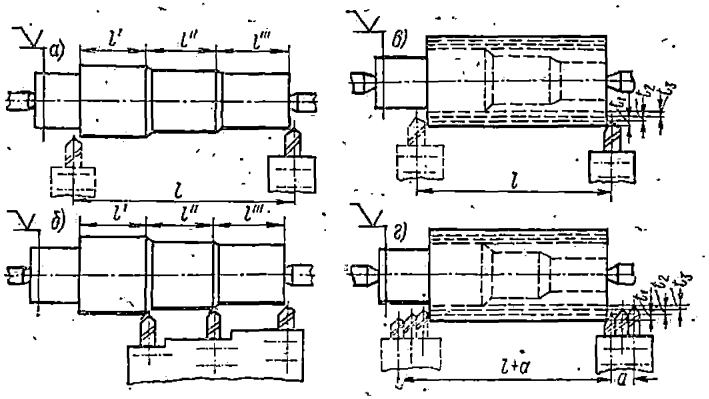


Рис. 103.

На многорезцовом токарном станке, снабженном соответствующей технологической оснасткой (многорезцовая державка и несколько резцов), можно произвести эту же работу с уменьшением длины рабочего хода примерно в три раза, так как каждый резец при этом будет обрабатывать только свою ступень (рис. 103, *б*). Это соответственно позволяет уменьшить примерно в три раза основное время обработки. Чем больше частей, на которые разделена длина обработки (в зависимости от количества резцов, одновременно участвующих в работе), тем больше сокращается основное время. Помимо сокращения основного времени этот метод обработки позволяет сократить и время вспомогательных приемов, так как при этом отпадает необходимость настройки резца на обработку каждой из ступеней вала (резцы устанавливают в многорезцовой державке станка с перепадами, определяемыми разностью радиусов цилиндрических поверхностей обтачиваемых ступеней).

Заготовку ступенчатого вала (рис. 103, *в*) можно обрабатывать по наружной поверхности с большим припуском по условиям, определяемым стойкостью резца и мощностью универсального токарного

станка, за несколько рабочих ходов (в случае, показанном на рисунке, — за три рабочих хода с глубиной резания t_1, t_2 и t_3).

При обработке на том же станке с применением нескольких резцов число рабочих ходов может быть сокращено до одного. Так, в данном примере (рис. 103, *г*) установка трех резцов дает возможность снять весь припуск за один рабочий ход при весьма незначительном увеличении длины рабочего хода ($l + a$).

В случаях, когда весь припуск может быть снят за один проход при максимальной нагрузке на резец, применение метода «деления припуска» позволяет разгрузить каждый из работающих резцов, пересмотреть режимы резания и уменьшить машинное время.

§ 53. Токарная обработка

Наибольший удельный вес при обработке наружных поверхностей вращения занимает обработка на станках токарно-револьверной группы, которые составляют 25...50% от общего станочного парка машиностроительного завода.

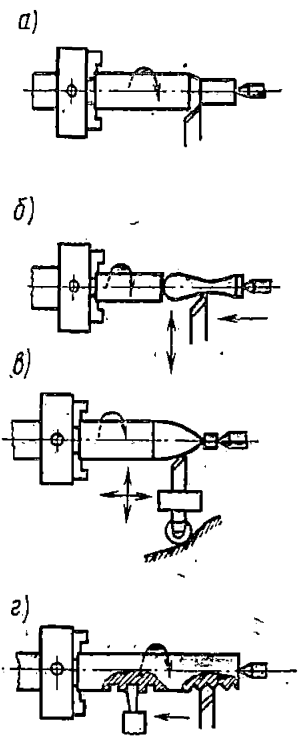


Рис. 104.

Наиболее распространенным видом обработки наружных поверхностей тел вращения на токарных станках является обтачивание при продольном перемещении суппорта с режущим инструментом (рис. 104, *а*).

Фасонное обтачивание, т. е. обработку поверхностей деталей со сложной конфигурацией (сферических, ступенчатых, конических и др.), осуществляют при одновременном перемещении режущего инструмента в продольном и поперечном направлениях (рис. 104, *б*), а также при обработке фасонными резцами. Фасонное обтачивание по копиру, контур которого соответствует контуру обрабатываемой заготовки (рис. 104, *в*), значительно упрощает обработку заготовок.

Нарезание резьбы (рис. 104, *г*) также является весьма распространенной операцией. На современных токарных станках можно нарезать метрические, дюймовые и другие резьбы, а также многозаходные резьбы разных профилей (подробно см. § 67).

Токарная обработка состоит из черновых (обдирочных) и чистовых операций. В ряде случаев применяют также получистовую и отделочную (тонкую) обработку. При черновых операциях снимают возможно бо́льшую часть припуска с приданием заготовке формы, приближающейся к форме детали; достигаемая при этом шероховатость поверхности не превышает 3-го класса по ГОСТ 2789—73. Получи-

стовое точение позволяет повысить шероховатость обрабатываемой поверхности до 4-го класса, при этом достигается более высокая точность обработки. При чистовых операциях заготовке придают окончательную форму в пределах точности 3...4-го классов и шероховатости поверхности 4...6-го классов. Тонкое точение может заменить шлифование, являясь, таким образом, отделочной операцией. Оно позволяет получить шероховатость обработанной поверхности 8-го класса.

Простейшей формой фасонного обтачивания является обработка конической поверхности. Узкие конические поверхности, например фаски, обрабатывают установкой резца с прямолинейной режущей кромкой на заданный угол. Конус можно обработать также при повороте верхних салазок суппорта на угол, равный половине угла при вершине конуса.

При небольшом значении угла при вершине конус можно обработать методом поперечного смещения задней бабки. Однако этот метод является приближенным, так как при смещении задней бабки вместе с ней смещается и заготовка, в результате чего ее длина проектируется на плоскость, проходящую через линию центров станка, с искажением.

В крупносерийном и массовом производстве широко применяют различные токарные полуавтоматы и автоматы. Основными технологическими схемами обработки на этих станках являются:

1) *параллельная* — при обработке каждого изделия в каждой позиции участвует несколько инструментов, работающих одновременно: начало и окончание работы отдельных инструментов могут не совпадать, но необходимо, чтобы в течение некоторого времени все инструменты работали одновременно;

2) *последовательная* — в обработке каждого изделия участвует несколько инструментов, вступающих в действие последовательно; начало работы следующего инструмента наступает только после окончания работы предыдущего;

3) *параллельно-последовательная* — в обработке каждого изделия участвует несколько групп инструментов; в группах инструменты работают параллельно, а сами группы инструментов — последовательно;

4) *ротационная* — в обработке каждого изделия участвует один или группа инструментов при одновременном ротационном движении заготовок и инструментов; каждая деталь обрабатывается инструментами, которые не участвуют в обработке других деталей;

5) *непрерывная* — в обработке каждого изделия участвует один или несколько инструментов при непрерывающейся подаче заготовок.

Ротационная и непрерывная технологические схемы обработки существенно различаются между собой; при ротационных схемах имеет место отвод и подвод инструментов (возвратно-поступательное движение), в станках же непрерывного действия движение транспортирования совпадает с движением подачи. При благоприятных условиях в станках непрерывного действия контакт инструмента с обрабатываемой деталью поддерживается непрерывно, что невозможно в станках ротационного типа.

На основе этих технологических признаков токарные полуавтоматы и автоматы подразделяют на следующие виды: автоматы фасонно-отрезные и фасонно-продольного точения; токарно-револьверные автоматы; токарные одношпиндельные автоматы; токарные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы; копировальные автоматизированные станки.

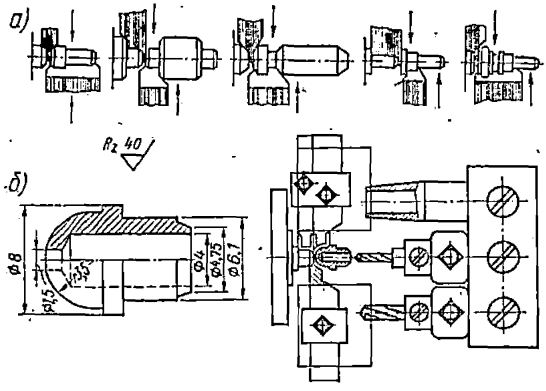


Рис. 105.

Фасонно-отрезные автоматы предназначаются для обтачивания коротких фасонных заготовок, нарезания наружной резьбы, а также для сверления центрального отверстия. Обтачивание фасонных поверхностей и отрезку заготовки от прутка производят режущим инструментом, закрепленным на поперечных суппортах, количество которых составляет 2...5. С продольного суппорта сверлят отверстия и нарезают резьбу. На рис. 105, *а* показаны типовые детали, обрабатываемые на фасонно-отрезных автоматах, а на рис. 105, *б* — технологическая схема обработки детали на станке, оснащенном дополнительным приспособлением для центровки, сверления и развертывания.

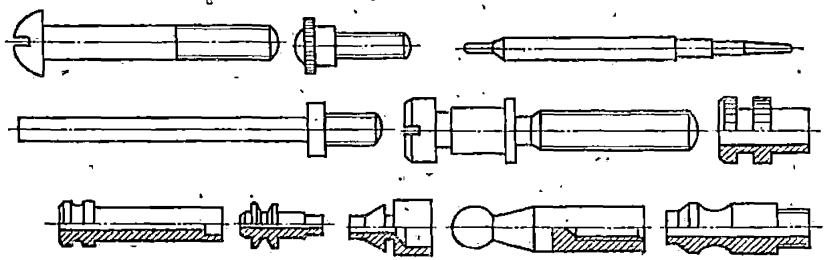


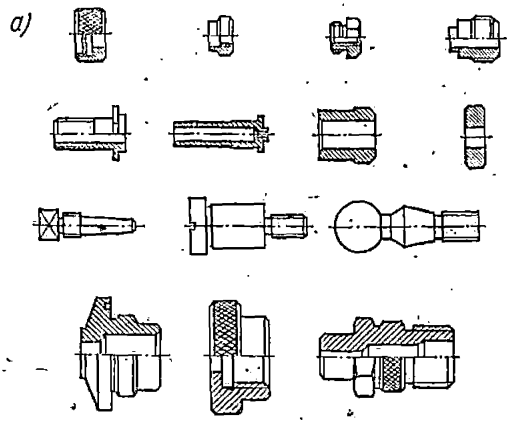
Рис. 106.

Фасонно-токарные автоматы для продольного точения отличаются от описанных выше автоматов тем, что на них обтачивают заготовку поперечно перемещающимися резцами при продольной рабочей подаче обрабатываемого прутка. Продольная подача осуществляется перемещением шпиндельной бабки. На рис. 106 показаны типовые детали, обрабатываемые на автоматах фасонно-продольного точения.

Токарно-револьверные автоматы отличаются от обычных токарно-револьверных станков тем, что все действия их рабочих

органов полностью автоматизированы. Такие автоматы снабжены шестипозиционной револьверной головкой с горизонтальной осью вращения, перпендикулярной оси вращения шпинделя, и тремя поперечными суппортами — передним, задним и верхним.

На рис. 107, *а* приведены типовые детали, обрабатываемые на токарно-револьверных автоматах, а на рис. 107, *б* — технологическая схема наладки станка для обработки детали (колпачка) из пруткового материала. После подачи до упора и закрепления прутка инструментами, установленными в первых трех гнездах, производится рассверливание заготовки,



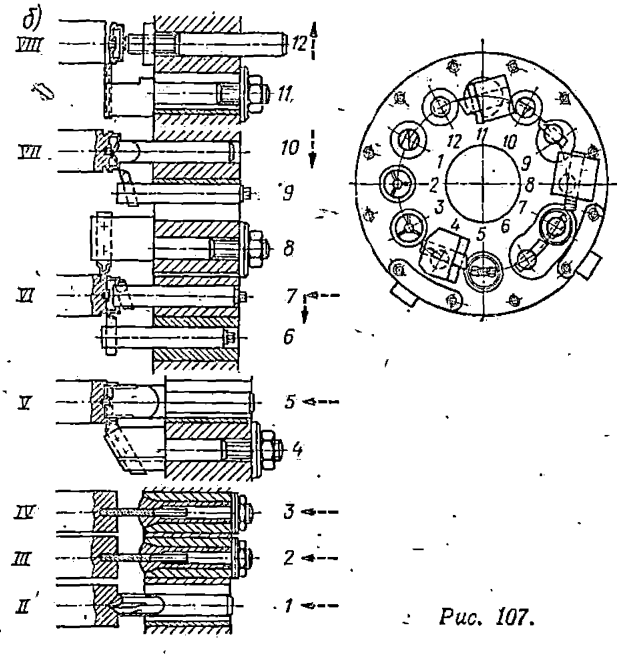


Рис. 107.

после чего инструментами, установленными в 4-м и 5-м гнездах, производится обтачивание поверху и растачивание отверстия заготовки, а в 6, 7 и 8-м гнездах — то же, с надрезкой заготовки. Затем инструментами, установленными в 9-м и 10-м гнездах, производится подрезка в размер с окончательным оформлением отвер-

стия, а в 11-м гнезде — отрезка с поддержкой от упора, размещенного в 12-м гнезде. Движением револьверной головки и поперечных суппортов на револьверных автоматах управляет распределительный вал с постоянными и сменными кулачками.

На револьверных автоматах можно производить обтачивание с продольной и поперечной подачами, нарезание резьбы, а также сверление отверстий и другие операции.

Токарные одношпиндельные полуавтоматы подразделяются на патронные и центровые. Между ними нет резких конструктивных различий, так как центровые станки без особых изме-

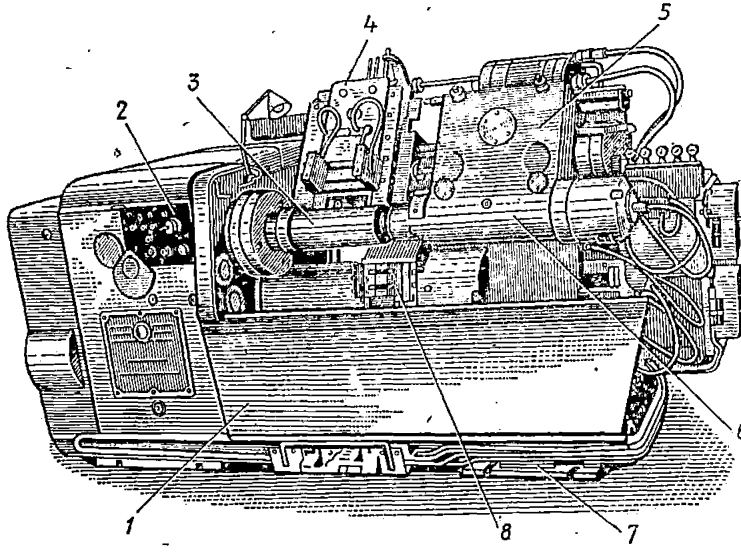


Рис. 108.

нений могут быть превращены в патронные, и наоборот. Во всех вариантах одношпиндельные полуавтоматы имеют по два или по три суппорта, но при обработке длинных деталей количество суппортов может быть увеличено. Суппорты имеют поперечное, продольное и сложное прямолинейное или криволинейное перемещения.

На патронных полуавтоматах иногда обрабатывают внутренние конусы и выточки, которые получают при одновременном или последовательно продольном и поперечном перемещениях режущего инструмента. На таких станках обрабатывают детали диаметром от 75 до 1000 мм.

В крупносерийном и массовом производстве наиболее распространены одношпиндельные многорезцовые центровые полуавтоматы. На рис. 108 показан такой полуавтомат модели 1721.

Станина станка *1* — жесткая отливка, в верхней части которой под углом 35° к вертикали расположены направляющие верхнего суппорта *4*, а в нижней — направляющие, по которым перемещается

нижний суппорт *8*. На верхних направляющих размещается также задняя бабка *5*. Передняя бабка *2* крепится на вертикальной плоскости станины. В левой части станины расположены цилиндры верхнего и нижнего суппортов. Для зажима обрабатываемой заготовки *3* в шпинделе установлено пневматическое устройство с управлением от подачи. Задняя бабка имеет пиноль *6*, перемещающуюся с помощью гидроцилиндра, который имеет педальное управление *7*. Нижний суппорт *8* получает продольное перемещение от гидропривода, расположенного под передней бабкой; поперечное перемещение верхней части суппорта *8* (врезание) осуществляется с помощью конуса, закрепленного на специальной каретке, установленной на нижних направляющих станины. Резцы отводятся от обрабатываемой заготовки линейками «отскока», расположенными под копиром. Верхний суппорт *4* аналогичен нижнему, но имеет только одно поперечное рабочее перемещение с помощью копира; в продольном направлении производится лишь установочное перемещение с помощью винта.

На рис. 109, *а* приведена технологическая схема обработки заготовки на центровом полуавтомате. Как видно из схемы, в державке продольного (верхнего) суппорта *1* установлены два проходных резца *2* и *6*; резец *2*, обтачивающий коническую поверхность *А* заготовки, работает по копиру *7*. На поперечном (нижнем) суппорте *4*, имеющем радиальную подачу, установлены фасонные резцы *3* и *5*.

На рис. 109, *б* приведена технологическая схема обработки наружного кольца конического роликоподшипника на одношпиндельном автомате в патроне.

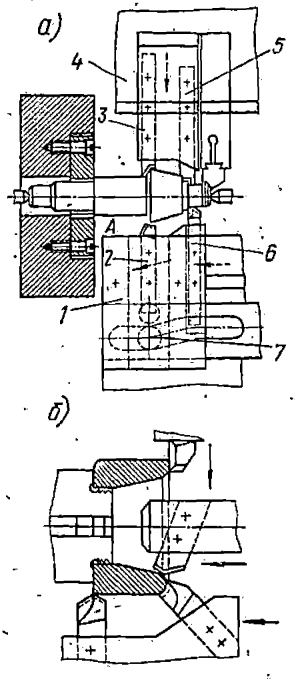


Рис. 109.

Токарные многошпиндельные автоматы и полуавтоматы подразделяют на горизонтальные с вращающейся или неподвижной заготовкой и вертикальные непрерывного или последовательного действия.

Горизонтальные многошпиндельные полуавтоматы с вращением обрабатываемой заготовки широко распространены в промышленности; полуавтоматы с неподвижной обрабатываемой заготовкой и вращающимися режущими инструментами встречаются реже.

Вертикальные многошпиндельные полуавтоматы непрерывного действия (ротационные) предназначены для обработки заготовок, установленных в центрах или закрепленных в патронах. На каждой позиции, кроме установочной, производят одну и ту же операцию. Режущие инструменты, установленные на всех суппортах, налажены одинаково. Таким образом, станок представляет собой как бы несколько одношпиндельных вертикальных многорезцовых полуавтоматов, шпиндели которых размещены на вращающейся карусели. Загрузка шпин-

делей суппортов происходит при непрерывно вращающемся столе, при этом все суппорты непрерывно продолжают работу, кроме находящегося в загрузочной позиции суппорта, шпиндель которого не вращается.

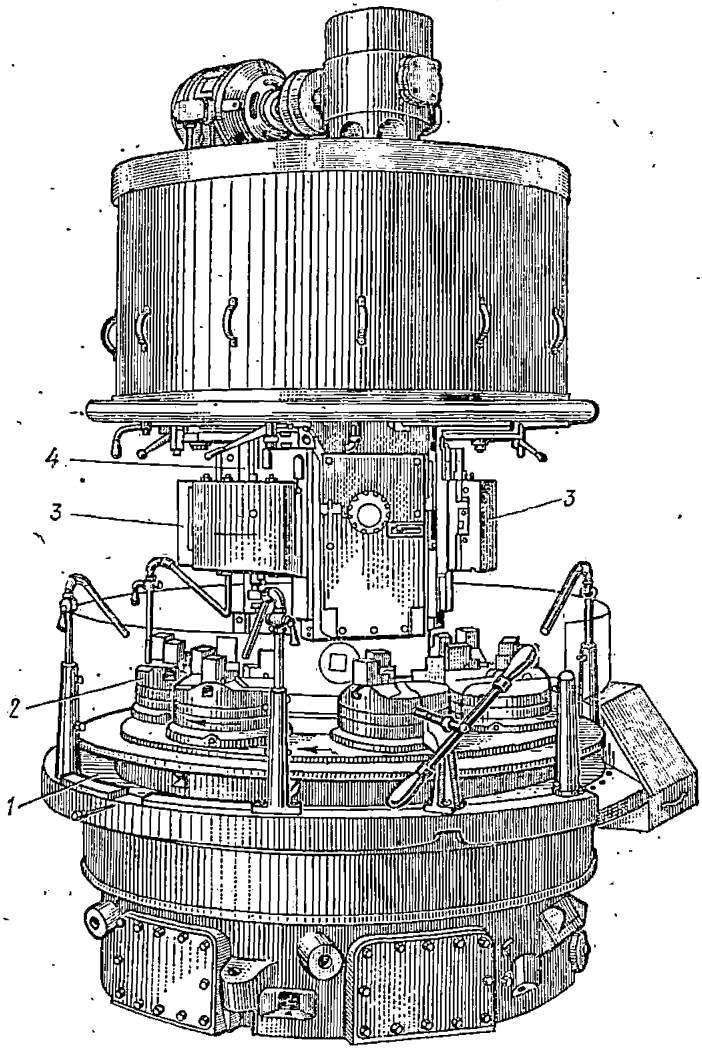


Рис. 110.

Многошпиндельные вертикальные полуавтоматы последовательного действия, изготовляемые с шестью, восемью и более шпинделями, в основном предназначены для патронных работ.

На рис. 110 показан общий вид шестишпиндельного вертикального токарного полуавтомата последовательного действия.

В карусели *1*, периодически поворачивающейся на 60°, размещены вертикальные шпиндели с патронами *2*, которые вращаются

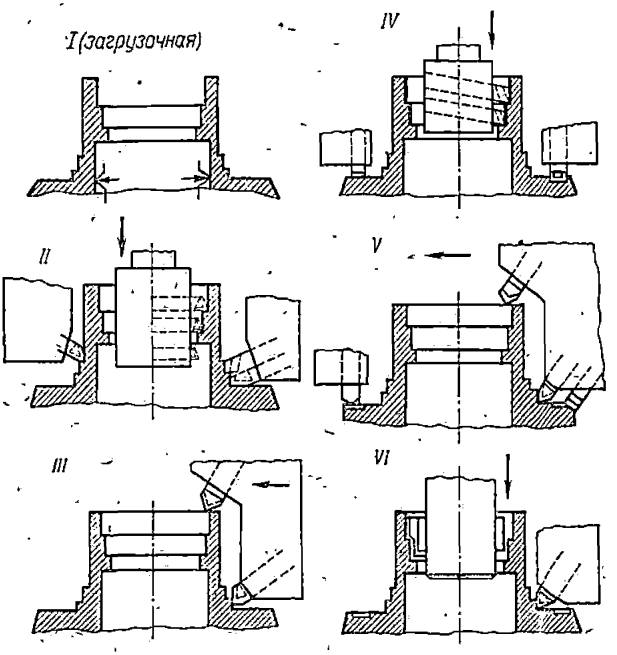


Рис. 111.

с необходимой частотой вращения независимо от вращения карусели. В центре стола помещена шестигранная колонна *4*, на которой расположены пять суппортов *3*. Они могут перемещаться в вертикальном и

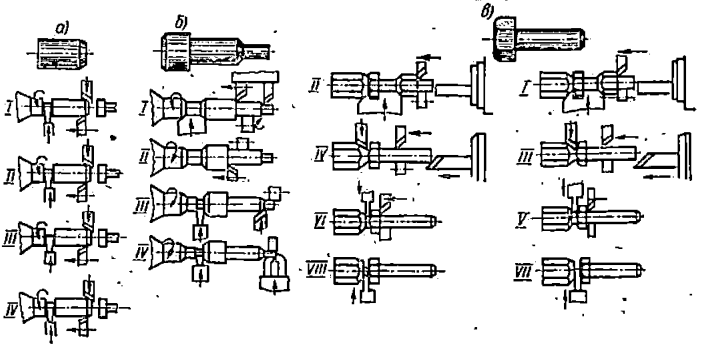


Рис. 112.

горизонтальном направлениях. Заготовки закрепляются в патронах шпинделей станка. На пяти позициях в последовательности выполнения технологических переходов одновременно обрабатывают пять заго-

товок, каждая из которых, перемещаясь из одной позиции в другую, проходит полный цикл обработки.

По окончании цикла обработки заготовка подходит к шестой позиции, т. е. к загрузочно-разгрузочной зоне, где вращение шпинделя прекращается, что дает возможность снять обработанную заготовку и установить в патрон новую.

На многошпиндельных полуавтоматах одновременно можно обрабатывать две различные или одинаковые заготовки с двух сторон. В этих случаях две позиции являются загрузочно-разгрузочными, а шпиндели переключаются через позицию (двойная индексация карусели).

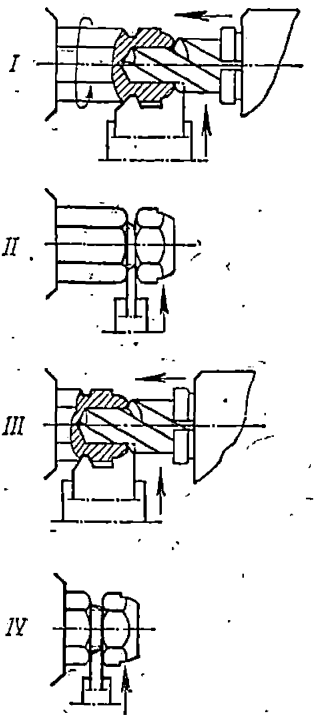


Рис. 113.

На рис. 111 приведена технологическая схема обработки заготовки на вертикальном многошпиндельном шестипозиционном полуавтомате. На позиции *I* снимают готовую деталь и устанавливают новую заготовку. На последующих позициях (*II*...*VI*) обрабатывают наружные и внутренние поверхности деталей.

На горизонтальных многошпиндельных токарных автоматах обрабатывают главным образом детали из прутков. При оснащении автоматов специальными загрузочными устройствами на них можно изготовлять детали из штучных заготовок.

Многошпиндельные автоматы чаще всего имеют четыре или шесть шпинделей, значительно реже — пять и восемь.

На рис. 112 приведены примеры обработки заготовок из прутка на многошпиндельном автомате. На рис. 112, *а* показана обработка заготовки на четырехшпиндельном автомате по параллельному методу. Как видно из схемы, на каждом автомате все переходы операции повторяются и в конце цикла автомат изготовит одновременно четыре заготовки. На рис. 112, *б* показана обработка заготовки на четырехшпиндельном автомате по последовательному методу. Как видно из схемы, на каждом шпинделе выполняют отдельные переходы и за весь цикл автомат обрабатывает одну заготовку.

Обработка заготовки на восьмишпиндельном автомате по параллельно-последовательному методу показана на рис. 112, *в*. Из схемы видно, что на каждом шпинделе обеих параллельных групп выполняется отдельный переход и в конце цикла автомат производит две заготовки одновременно.

При обработке на многошпиндельных автоматах стремятся к максимальному совмещению переходов и примерно одинаковой длительности обработки на всех позициях. Это достигается расчленением наи-

более длительных переходов на ряд позиций с выбором соответствующей величины подачи, применением многоинструментных наладок, комбинированных инструментов и т. п.

На рис. 113 приведен пример наладки четырехшпиндельного автомата для изготовления фасонных гаек. В этой наладке материал подается до упора по длине на две гайки. Фасонные резцы на позициях *I* и *III* обтачивают гайки по профилю и одновременно протачивают начальную канавку под отрезной резец. На позициях *II* и *IV* гайки отрезают. Сверление производят комбинированными (ступенчатыми) сверлами.

§ 54. Шлифовальная обработка

Шлифование — это вид обработки деталей с помощью абразивного инструмента, режущим элементом которого являются зерна абразивных материалов. При этом достигаются высокие точность и класс шероховатости обрабатываемых поверхностей.

При обработке на шлифовальных станках режущим инструментом являются шлифовальные абразивные круги, которые состоят из мелких зерен абразивных материалов, сцементированных между собой связующим веществом — связкой. Твердость абразивных материалов значительно выше твердости закаленной стали.

Материалы, применяемые для изготовления абразивного инструмента, подразделяются на природные и искусственные. К природным абразивам относятся алмаз, корунд, наждак, гранит, кварц, кремний, полевой шпат, пемза и др. К искусственным абразивам относятся электрокорунд, карбид кремния, карбид бора, карбид циркония, борсиликарбид, кубический нитрид бора (эльбор), синтетический алмаз и др.

Для изготовления шлифовальных кругов в основном применяются искусственные шлифующие материалы, которые обладают более высокими качествами по сравнению с естественными в отношении однородности и чистоты и дешевле последних. В табл. 18 приводятся данные, характеризующие абразивные материалы и область их применения.

По ГОСТ 4785—64 шлифовальные круги изготовляют из следующих искусственных абразивных материалов: нормального и белого электрокорунда, черного и зеленого карбида кремния. Электрокорунд — это кристаллическая окись алюминия (Al_2O_3), получаемая плавкой в электрических печах бокситовой руды. Белый электрокорунд содержит несколько больше окиси алюминия; его режущая способность выше, чем нормального электрокорунда. Карбид кремния — химическое соединение кремния и углерода, получаемое путем сплавления в электрических печах кварцевого песка с угольным порошком. Зеленый карбид кремния имеет большую твердость и вообще является более качественным абразивом по сравнению с черным карбидом кремния. Для заточки твердосплавного инструмента применяют в основном зеленый карбид кремния.

Указанные абразивы в настоящее время получили преимущественное распространение в машиностроении.

Таблица 18. **Абразивные материалы, область их применения**

Наименование абразивного материала	Обозначение	Состояние материала	Выполняемые работы
Алмаз:			
естественный	А	Зерна и порошки в свободном (незакрепленном) виде, в виде шлифовальных кругов и алмазно-металлических карандашей	Шлифование, резание и доводка алмазов, рубинов, стекла и других труднообрабатываемых материалов, правка шлифовальных кругов*, заточка твердосплавного инструмента
искусственный обычной прочности	АСО		
повышенной прочности	АСВ		
высокой прочности	АСС		
Электрокорунд нормальный с содержанием Al_2O_3:			
91%	Э1	Порошки. Обдирочное шлифование чугунных и стальных отливок, поковок, штампованных деталей и зачистка стальных швов	
92...93%	13А Э2 Э3 14А	Порошки и микропорошки, зерна для абразивного инструмента на различных связках	Шлифование конструкционных и углеродистых сталей в сыром и закаленном виде, легированных сталей, ковкого чугуна, твердой бронзы
95%	Э5 15А	Порошки для абразивных инструментов на различных связках, круги для скоростного шлифования	Шлифование углеродистых и легированных сталей в закаленном виде, быстрорежущих сталей, их заменителей, заточка инструмента
Электрокорунд белый с содержанием Al_2O_3:			
98%	Э8 22А Э9	Порошки для абразивных инструментов на органических связках	Шлифование и доводка легированных и закаленных сталей
99%	Э9 23А	Порошки и микропорошки для абразивных инструментов на различных связках, круги для скоростного шлифования	Шлифование и доводка легированных и закаленных сталей, заточка и доводка режущего инструмента
99,3%	Э9А 24А		
Монокорунд с содержанием Al_2O_3:			
96,5...97,4%	М7 43А	Порошки для абразивных инструментов на различных связках	Шлифование легированных, цементированных, закаленных и азотированных сталей, заточка и доводка режущего инструмента
97,5...98,5%	М8 44А		

* Искусственные алмазы этих марок для правки шлифовальных кругов не применяют.

Продолжение табл. 18

Наименование абразивного материала	Обозначение	Состояние материала	Выполняемые работы
Электрокорунд хромистый	ЭХ 33А 34А	Порошки для абразивных инструментов	Шлифование конструкционных углеродистых легированных сталей
Электрокорунд титанистый	ЭТ 37А	То же	То же
Карбид кремния черный с содержанием SiC:			
97%	КЧ7 53С	Порошки для абразивных инструментов на различных связках: зернистостью 125...50	Обработка чугуна, меди, алюминия, стекла, фарфора, камня, эбонита и т. д.
98%	КЧ8 54С	зернистостью 40...16	Шлифование твердых и хрупких материалов, заточка инструментов, оснащенных твердыми сплавами
Карбид кремния зеленый с содержанием SiC:			
96%	К36 63С	Порошки и микропорошки	Шлифование твердых сплавов, заточка твердосплавного инструмента, заточка минералокерамических резцов, обработка неметаллических материалов высокой твердости
97%	К37		
98%	К38	Порошки для абразивных инструментов на различных связках	Тонкое шлифование и доводка легированных и закаленных сталей и неметаллических материалов высокой твердости
99%	63С		
99,5%	К39		
Кубический нитрид бора (эльбор):			
с повышенной технической прочностью	ЛП	Порошки и микропорошки для абразивных инструментов на различных связках	Шлифование закаленных легированных, высоколегированных инструментальных, жаропрочных и подшипниковых сталей. Профильное шлифование
с обычной механической прочностью	ЛО		

Для стандартизованных шлифовальных кругов применяют шесть видов связок: керамическую, бакелитовую, вулканитовую, силикатную, глифталевую и металлическую. Наибольшее распространение в машиностроении получила керамическая связка, которую приготовляют из огнеупорной глины, полевого шпата и кварца. Достоинства керамической связки — огне- и водостойкость, большая производительность.

Бакелитовая (органическая) связка — синтетическая смола. Круги на бакелитовой связке прочны и упруги, но плохо переносят воздей-

ствие охлаждающей жидкости. Другой вид органической связи — вулканитовая связка, состоящая из каучука и серы. Круги на вулканитовой связке прочны и водостойки, позволяют работать с большой скоростью вращения, но сравнительно быстро засаливаются.

Силикатная связка предназначается для кругов, работающих без охлаждения, когда обрабатываемая поверхность не должна перегреваться. Эти круги водо- и щелочеустойчивы. Глифталевая связка применяется для волокнистых упругих кругов при тонком и отделочном шлифовании деталей из закаленных сталей.

Металлическая связка бывает вольфрамокобальтовая, железоникелевая, медно-оловянная и применяется для кругов из алмаза. Круги обладают большой износостойкостью и производительностью и позволяют работать с более высокими температурами.

Важнейшим параметром, определяющим режущие свойства шлифовального круга, является его зернистость (обозначаемая номером), т. е. размеры зерен (иначе крупность зерен) абразивных материалов, из которых состоит круг. Размеры зерен определяются размерами сторон ячеек контрольных сит, применяемых для анализа зернистых абразивных материалов. Так, например, номер зернистости 16 означает, что абразивные зерна этой зернистости проходят через сито с ячейками размером стороны 200 мкм и не проходят через сито с ячейками размером 160 мкм.

По ГОСТ 3647—71 принята шкала с номерами зернистости 200, 160, 125, 100, 80, 63, 50, 40, 32, 25, 20, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4, 3, М63, М50, М40, М28, М20, М14, М10, М7, М5, М3 и М1; буквой М обозначаются микропорошки из абразивного материала, микропорошки из природного алмаза обозначаются АМ и АН, из синтетических алмазов — АСМ и АСН.

Твердость шлифовального круга характеризуется силой, которую нужно приложить к зерну, чтобы вырвать его из связки. Чем больше эта сила, тем тверже круг. Слишком мягкие круги быстро изнашиваются, если же круг излишне тверд, то он быстро забивается снимаемой стружкой и вследствие этого сильно нагревает обрабатываемую заготовку. Поэтому для шлифования твердой стали применяют мягкие круги, так как затупившиеся зерна их легко вырываются из связки, обнажая нижележащие зерна с острыми кромками — круг как бы самозатачивается. Наоборот, при шлифовании мягкой стали применяют твердые круги, так как стойкость их больше. Для шлифования меди и латуни применяют мягкие крупнозернистые круги, так как мелкозернистые круги быстро «засаливаются».

ГОСТ 18118—72 предусмотрены семь классов твердости абразивных кругов, причем каждый класс подразделяется по степени твердости (табл. 19).

По форме абразивные круги бывают плоскими (рис. 114, *а*), чашечными коническими (рис. 114, *б*), цилиндрическими (рис. 114, *в*), тарельчатыми (рис. 114, *г*) и дисковыми (рис. 114, *д*). Для шлифования резьб применяют специальные профильные круги. Всего ГОСТ 2424—67 предусмотрено 22 типа абразивных кругов.

Данные для выбора шлифовального круга в зависимости от обрабатываемого материала и способа шлифования приведены в табл. 20.

Таблица 19. **Обозначения кругов различной твердости**

Обозначение класса твердости круга	Обозначения подразделений классов твердости
Мягкий (М)	М1; М2; М3
Среднемягкий (СМ)	СМ1; СМ2
Средний (С)	С1; С2
Среднетвердый (СТ)	СТ1; СТ2; СТ3
Твердый (Т)	Т1; Т2
Весьма твердый (ВТ)	ВТ
Чрезвычайно твердый (ЧТ)	ЧТ

Шлифовальные круги подвергают правке для восстановления режущей способности, потерянной в результате засаливания и затупления, для исправления геометрической формы изношенного круга и обеспечения правильного расположения рабочей поверхности круга относительно оси его вращения после установки на шлифовальном станке.

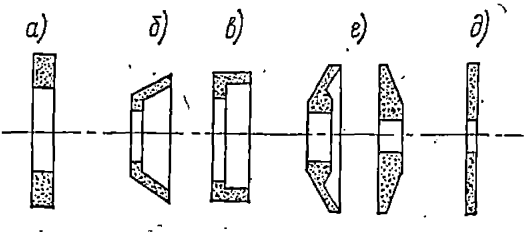


Рис. 114.

Под *правкой* круга понимают процесс удаления с его поверхности слоя изношенных абразивных зерен. Правку абразивных кругов производят техническими алмазами: алмазно-металлическими карандашами или кристаллами алмаза, запаянными в стальные оправы. Применяют также заменители алмазов: твердосплавные диски, специальные абразивные диски, металлические диски и звездочки.

Шлифовальные станки подразделяют на станки для круглого (центровые и бесцентровые для наружного и внутреннего шлифования) и плоского шлифования, станки для доводочно-притирочных работ. Последние в свою очередь подразделяют на три группы в зависимости от применяемых абразивных материалов: работающие шлифовальным кругом, порошком и полировочными пастами. К станкам для наружного круглого шлифования относятся также фасонно-шлифовальные, заточные станки для режущего инструмента, специальные станки для шлифования шеек распределительных и коленчатых валов, желобошлифовальные для колец шарикоподшипников и др.

При круглом наружном шлифовании поверхностей применяют разнообразные методы обработки. Наиболее распространенным является шлифование методом продольной (рис. 115, *а*), поперечной (рис. 115, *б*) и глубинной подачи, т. е. при совмещении большой поперечной и малой продольной подач (рис. 115, *в*). В последнем способе круг правят на конус или ступенями. Наружное круглое шлифование с продольной

Таблица 20. Данные для выбора шлифовального круга в зависимости от обрабатываемого материала и способа шлифования

Обрабатываемый материал	Наружное круглое шлифование в центрах			Внутреннее шлифование			Плоское шлифование					
							торцом круга			периферией круга		
	Характеристика шлифовального круга											
	материал	зернистость	твердость	материал	зернистость	твердость	материал	зернистость	твердость	материал	зернистость	твердость
Сталь углеродистая незакаленная	Э	32	С2...С1	Э	32	СМ2...СМ1	Э*	20	СМ1	ЭБ	40	СМ2...СМ1
Сталь углеродистая закаленная	Э	32	С1...СМ2	Э	32...20	СМ2...М3	ЭБ	63...40	М3...М2	ЭБ	40	СМ1...М3
							Э*	40...32	С1...СМ1			
Сталь высокоуглеродистая и быстрорежущая закаленная	Э	32	СМ2...СМ1	ЭБ	20	СМ2...СМ1	Э*	40...32	С1...СМ2	ЭБ	32	СМ1...М2
Сталь нержавеющая	ЭБ	40...32	С1...СМ2	—	—	—	Э*	40...32	СМ2...СМ1	Э	32	СМ2...СМ1
							ЭБ	40	М3...М1			
Сталь марганцовистая	Э	40	СТ1...С1	Э	32	С1...СМ2	Э	100...63	СМ2...СМ1	Э	40	СМ2...СМ1
Сталь хромоникелевая закаленная	Э	32	С1...СМ1	Э*	32	С1...СМ1	Э*	20	СМ2...СМ1	ЭБ	40	СМ2...М3
Чугун серый	КЧ	40...32	СМ2...СМ1	КЧ	32	СМ2...М3	КЧ	60...40	СМ1...М3	КЧ	40	СМ1...М3
Чугун отбеленный	КЧ	40	СМ2...СМ1	КЧ	32	С1...СМ1	ЭБ	100...63	СМ1...М3	КЧ	40	СМ1...М3
Бронза мягкая, НВ < 100	КЧ	40	СМ1	ЭБ	40	СМ1...М3	КЧ*	63...40	СМ2...СМ1	КЧ	40	СМ1...М3
Бронза твердая, НВ ≥ 100	Э	32	С1...СМ1	КЧ	32	СМ1	Э*	63	С1...СМ1	—	—	—
Латунь	КЧ*	32	СМ2...СМ1	КЧ	32	СМ1	КЧ*	63...40	СМ2...СМ1	КЧ	63...40	СМ1...М3
Алюминий	КЧ	32	СМ1...М3	КЧ	32	СМ1	ЭБ	100...63	М3...М2	КЧ	40	СМ2...СМ1
Твердые сплавы	КЧ	20	М3	КЗ	20	СМ1...М3	КЗ	20	М3...М2	КЗ	20	М2

Примечание. Э — электрокорунд нормальный; ЭБ — электрокорунд белый; КЧ — карбид кремния черный; КЗ — карбид кремния зеленый. Шлифовальные круги, отмеченные звездочкой, на бакелитовой связке, остальные — на керамической.

подачей применяют для обработки заготовок значительной длины; с поперечной подачей обрабатывают небольшие детали, где ширина круга перекрывает длину обрабатываемой поверхности; с глубинной подачей обрабатывают короткие, но жесткие детали.

На круглошлифовальных станках возможна обработка заготовок с конической поверхностью. При обработке пологого конуса верхняя часть стола станка может быть повернута на нужный угол к оси шпинделя шлифовального круга. Заготовки с большим углом конуса шлифуют при повернутой на заданную величину бабке шлифовального круга.

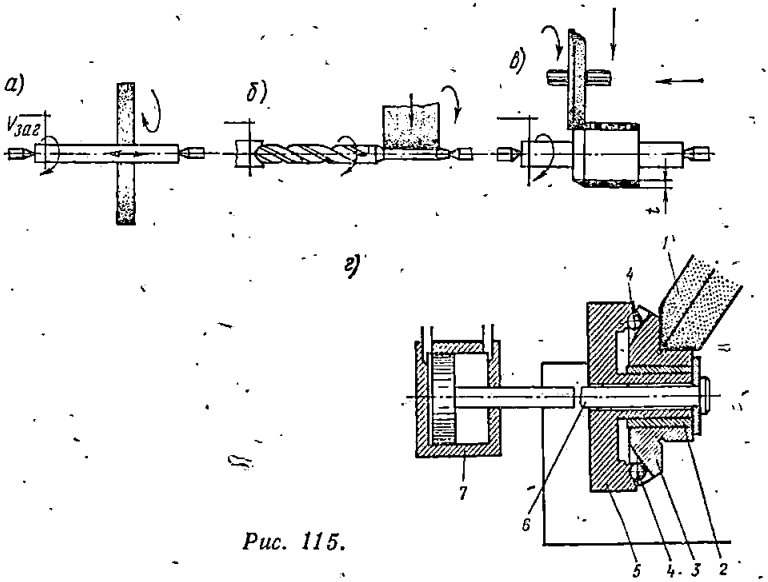


Рис. 115.

Угловое расположение круга рекомендуется при одновременном шлифовании шейки вала и торца. При такой технологической схеме торец заготовки шлифуется периферией круга, что уменьшает контакт круга с заготовкой, обеспечивает улучшение качества обработанной поверхности и исключает возможность прижогов.

На рис. 115, *г* приведена схема обработки заготовки *3* с угловым расположением шлифовального круга *1*. Обрабатываемую заготовку зубчатого колеса устанавливают на оправке *2* в поводковом патроне *5* и базируют по отверстию и впадинам. Торцевой поджим зубьев к шарикам *4* обеспечивается штоком *6* пневматического цилиндра *7*.

При наружном бесцентровом шлифовании обрабатываемую заготовку, лежащую на направляющем ноже, пропускают между двумя абразивными кругами: шлифующим (рабочим) и ведущим. Поворот оси ведущего круга на определенный угол в вертикальной плоскости обеспечивает перемещение обрабатываемой заготовки вдоль оси шлифующего круга при одновременном вращении заготовки вокруг своей оси.

Применяют также метод бесцентрового шлифования с поперечной подачей шлифующего круга. В этом случае оси шлифующего и ведущего круга строго горизонтальны.

Преимуществом бесцентрового шлифования является его высокая производительность, превышающая в несколько раз производительность центровых круглошлифовальных станков. Однако наряду с этим переналадка бесцентрового станка для шлифования других размеров требует значительного времени, поэтому его выгодно применять в условиях крупносерийного производства. Кроме того, при наружном бесцентровом шлифовании деталей с обработанным отверстием нельзя добиться концентричности внешней поверхности к внутренней,

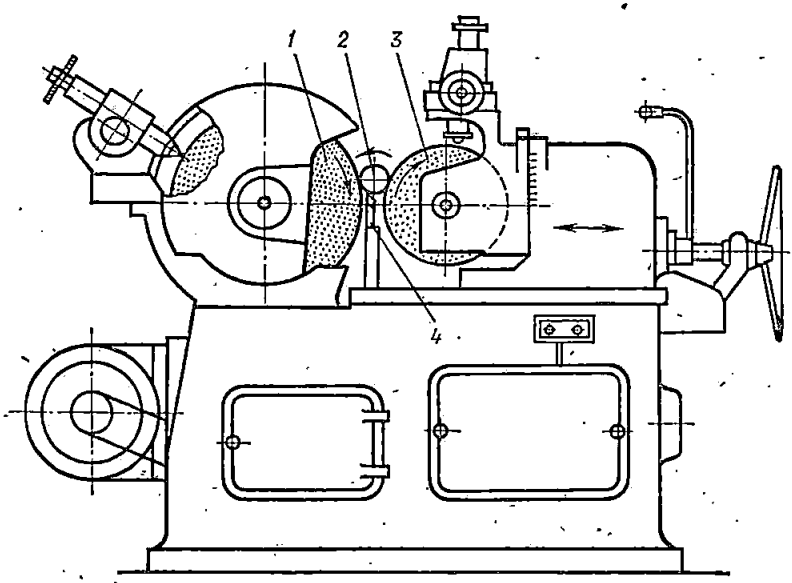


Рис. 116.

На рис. 116 дан общий вид бесцентрово-шлифовального станка. При шлифовании на этих станках обрабатываемую заготовку *2* устанавливают на опорном ноже *4* между двумя кругами — шлифующим *1* и ведущим *3*, вращающимися в одном направлении, но с разными числами оборотов. Скорость вращения обрабатываемой заготовки близка к скорости вращения ведущего круга. Скорость вращения шлифующего круга составляет 30...40 м/с. Так как трение между ведущим кругом (повернутым на угол $\alpha = 1...7°$) и шлифуемой заготовкой больше, чем между заготовкой и шлифующим кругом, то обрабатываемая заготовка увлекается во вращение ведущим кругом.

На бесцентрово-шлифовальных станках шлифуют заготовки, имеющие цилиндрические и фасонные, а также короткие конические поверхности.

На рис. 117 приведена схема обработки на бесцентрово-шлифовальном станке гладких цилиндрических деталей с буртиками: стержня

клапана (рис. 117, *а*) и толкателя клапана (рис. 117, *б*). Как правило, цилиндрические детали с буртиками шлифуют до упора *5*, устанавливаемого с прижимом к центру обрабатываемой заготовки *2*. Опорный торец заготовки должен быть чистым и без забоин. На рис. 117: *1* — опорный нож, *3* — шлифовальный круг, *4* — ведущий круг.

В том случае, если заготовку (фасонную или ступенчатую) нельзя продвигать между кругами, применяют шлифование по методу врезания. Обрабатываемую заготовку кладут на опорный нож после отвода ведущего круга от шлифующего. Затем продвижением ведущего круга на заготовку прижимают ее к шлифовальному кругу. После шлифования ведущий круг отводят от заготовки и последнюю выталкивают.

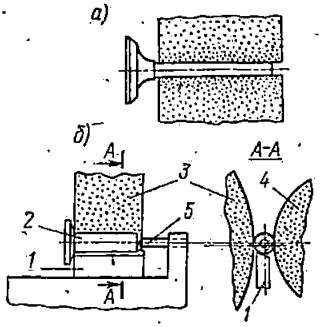


Рис. 117.

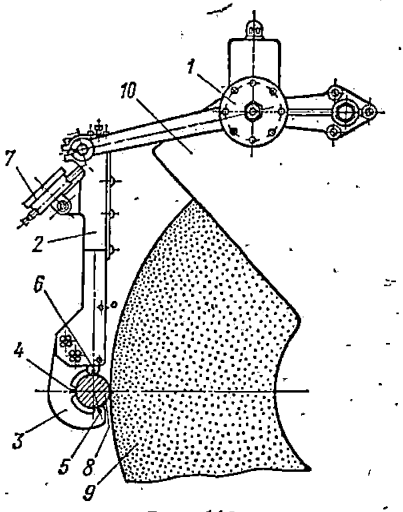


Рис. 118.

Если шлифуемая заготовка может быть пропущена полностью между ведущим и шлифующим кругами (т. е. если она не имеет заплечиков и уступов), то ее шлифуют с продольной подачей (на проход). В этом случае легко осуществить автоматизацию станка, установив на нем магазинное устройство.

Создание абразивной промышленностью высокопрочных пористых кругов на керамической связке, допускающих в процессе шлифования скорость вращения круга 50 м/с и более, способствовало внедрению в производство высокопроизводительного скоростного шлифования. При такой скорости вращения круга значительно уменьшаются глубина резания на одно зерно, а следовательно, и износ круга, повышается его стойкость и улучшается шероховатость обработанной поверхности на один-два класса. При скоростном шлифовании повышаются также скорость вращения заготовки до 50 м/мин, а также продольная и поперечная подачи.

Для скоростного шлифования применяют круги плоского прямого профиля (ПП) с той же твердостью, что и при обычном шлифовании. Производительность повышается в 1,5...2 раза при одновременном снижении расхода круга на деталь приблизительно на 40%.

При обработке шлифованием возможно применение устройств, позволяющих измерять диаметральные размеры обрабатываемой детали непосредственно в процессе осуществления операции.

На рис. 118 приведена схема прибора для контроля диаметров валов в процессе шлифования. Измерительное устройство состоит из трех основных частей: масляного амортизатора *1*, индикаторной державки *2* и сменной скобы *3*, устанавливаемой в державке *2*. Наконечники *4* и *5* сменной скобы являются упорными; подвижный наконечник *6* воспринимает отклонения шлифуемой шейки изделия *8* и передает их индикатору *7*. Нижний упорный наконечник *5* касается изделия не в диаметральной плоскости наконечника *6*, а в точке, смещенной примерно на 15° в направлении вращения шлифуемого вала; это делает более надежной и устойчивой посадку всей индикаторной скобы на изделие. Измерительное устройство закрепляется на кожухе *10* шлифовального круга *9*.

Если вместо индикатора *7* или в дополнение к нему закрепить в скобе электроконтактный датчик, то можно автоматизировать управление станком.

Шлифование абразивными лентами. В последнее время все больше применяется обработка поверхностей шлифованием абразивными лентами. Такому шлифованию подвергают не только поверхности тел вращения, но и плоские и фасонные (криволинейные) поверхности.

Достоинствами шлифования абразивными лентами являются: уменьшение тепловыделения, что повышает стойкость абразивной ленты и почти полностью исключает коробление обрабатываемых деталей; более однородная поверхность абразивной ленты по сравнению с поверхностью шлифовального круга в результате равномерного нанесения зерен с вертикальным их расположением на поверхности ленты методом осаждения в электростатическом поле; повышенное число режущих зерен на единицу поверхности по сравнению с шлифовальным кругом, что способствует повышению производительности; отсутствие вибраций и ударной нагрузки, что обеспечивает более высокое качество обработанной поверхности.

Абразивными лентами можно обрабатывать как черные, так и цветные металлы, а также неметаллические материалы.

Абразивные ленты изготовляют из ткани (например, саржи) или бумаги, на поверхность которой наносят с помощью клея (мездрового и др.) слой абразивных зерен: нормальный и белый электрокорунд для обработки стали, ковкого чугуна и бронзы и карбид кремния для обработки серого чугуна, латуни и алюминиевых сплавов.

Многослойные ленты применяют редко из-за сложности изготовления и высокой себестоимости.

Толщина ленты (со слоем абразива) обычно не превышает 2 мм. Ширину ленты выбирают в зависимости от длины обрабатываемой поверхности, в частности при шлифовании поверхностей тел вращения (валиков) ширину принимают равной их длине. Длина абразивной ленты также зависит от размеров обрабатываемых заготовок и требований, предъявляемых к производительности процесса шлифова-

ния, так как чем больше ее длина, тем большее число зерен участвует в процессе резания за один оборот ленты при той же ширине ленты. В практике производства применяют абразивные ленты шириной от 10 до 3000 мм и длиной от 500 до 7000 мм.

Способы шлифования абразивной лентой различаются по тому, как она прижимается к обрабатываемой поверхности.

На рис. 119 приведены схемы различных способов шлифования абразивной лентой (*1* — прижим; *2* — абразивная лента; *3* — обрабатываемая заготовка). В зависимости от формы обрабатываемой поверхности шлифовать можно свободным участком ленты, на ведущем контакт-

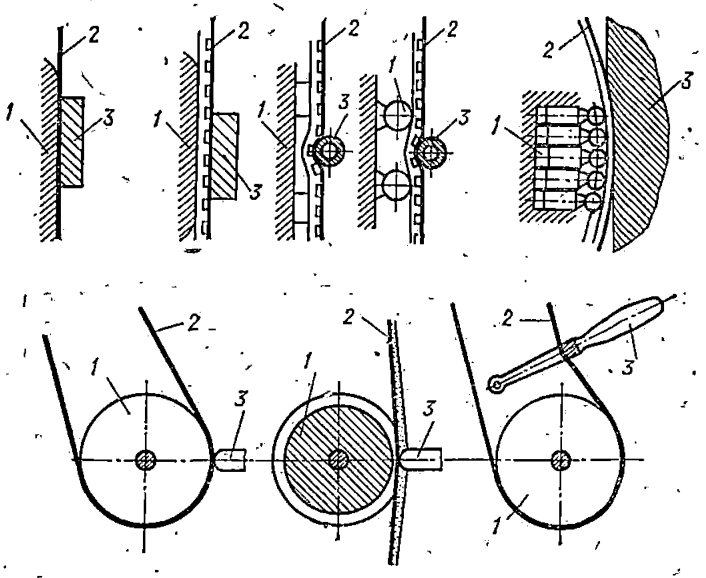


Рис. 119.

ном круге или на промежуточном контактном круге, профиль которого абразивная лента копирует.

Обработка свободным участком ленты является наиболее производительной, так как в этом случае абразивная лента имеет увеличенную поверхность контакта, охватывая наибольшую часть обрабатываемой заготовки, что позволяет шлифовать все поверхности, кроме цилиндрических и криволинейных с небольшим радиусом кривизны.

Обработка на контактном круге требует бо́льших усилий для обеспечения той же производительности. Производительность при шлифовании в этом случае обратно пропорциональна диаметру контактного круга, однако круги диаметром меньше 150 мм применять не рекомендуется.

Иногда вместо контактного круга применяют две опоры, располагаемые с обеих сторон обрабатываемой заготовки; в этом случае увеличиваются угол обхвата заготовки абразивной лентой, а следовательно, и площадь контакта.

Натяжение абразивной ленты регулируется натяжными роликами.

Давление обрабатываемой поверхности на абразивную ленту при обработке заготовок из стали и чугуна рекомендуется в пределах 0,5...2 кгс/см², а из цветных сплавов и алюминия — не более 0,4 кгс/см².

Скорость резания при обработке поверхностей абразивными лентами выбирают в зависимости от обрабатываемого материала, характера обработки (черновой или чистовой) и других факторов. При черновом шлифовании наружных поверхностей тел вращения заготовок из стали при $\sigma_в \leqslant 80$ кгс/мм² рекомендуют скорость резания 25...30 м/с, а при $\sigma_в > 80$ кгс/мм² и заготовок из чугуна и бронзы — 15...20 м/с; при шлифовании алюминия — 45...50 м/с.

В качестве смазывающих и охлаждающих средств при шлифовании абразивной лентой применяют минеральные масла, керосин, эмульсии, а также жировые пасты.

§ 55. Приспособления для токарных и шлифовальных работ

Наиболее широко распространенными приспособлениями для токарных и шлифовальных работ являются центры, кулачковые и цанговые патроны, которые применяют также и при других работах (например, сверлильных).

На рис. 120 показаны конструкции центров токарного станка: нормальные (рис. 120, *а*), со сферическим концом (рис. 120, *б*),

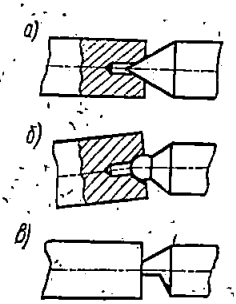


Рис. 120.

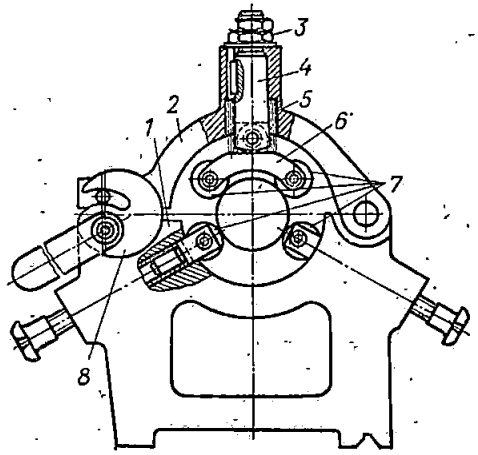


Рис. 121.

применяемые при смещении осевой линии заготовки относительно линии центров станка, полуцентры (рис. 120, *в*), позволяющие совмещать операции наружного продольного точения с подрезкой торцов.

Для повышения износостойкости центров их армируют твердым сплавом или металлизируют поверхность конуса.

В связи со значительным тепловыделением при резании, вызывающим удлинение обрабатываемой заготовки, изменяется сила зажима. Для того чтобы зажимная сила была постоянна, в задних бабках располагают компенсаторы различных конструкций: пружинные, пнев-

матические и гидравлические, которые позволяют несколько смещать пиноль при нагревании заготовки. Такие компенсаторы обычно используют при закреплении заготовки во вращающихся центрах.

Чтобы предотвратить прогиб обрабатываемых нежестких заготовок валов, в качестве дополнительных опор применяют люнеты подвижного или неподвижного типа. Обычные конструкции неподвижных универсальных люнетов не отвечают требованиям скоростной обработки, так как кулачки люнета, изготовленные из бронзы или чугуна, быстро изнашиваются и в их сопряжении с деталью образуется зазор, что приводит к вибрациям. Новатор В. К. Семинский предложил модернизовать существующие люнеты (рис. 121). В основании *1* люнета кулачки *7* заменяют шарикоподшипник, а гнездо под кулачок в крышке *2* растачивают и вставляют в него стержень *4* с пружиной *5*, на котором закреплена серьга *6* с двумя шарикоподшипниками. Шарикоподшипники основания люнета настраивают на диаметр по контрольному валику, устанавливаемому в центрах, или по самой обрабатываемой детали. Затем накидывают крышку *2* люнета и гайкой *3* регулируют положение стержня *4* с таким расчетом, чтобы зазор между основанием и крышкой составлял 3...5 мм; после этого эксцентриком *8* прижимают крышку. При этом пружина *5* сжимается и шарикоподшипники, установленные в серьге, с силой начинают прижимать обрабатываемую деталь к шарикоподшипникам основания.

Биение, вызываемое овальностью и неодинаковой толщиной различных участков обрабатываемой детали, при данной конструкции люнета воспринимается пружиной *5*, которая работает как амортизатор.

Наиболее распространенными устройствами передачи крутящего момента обрабатываемым заготовкам на шпинделе передней бабки являются поводковые устройства: хомутики, скобы, поводковые оправки, поводковые планшайбы, поводковые патроны, кулачковые патроны, цанговые зажимные устройства.

Обычные и самозажимные хомутики имеют ограниченное применение, так как требуют значительного времени для установки, поэтому чаще применяют самозажимные поводковые оправки. Устанавливать и снимать заготовки в этом случае можно при вращении шпинделя. Установленную в центрах заготовку перемещают влево поджимом пиноли задней бабки, при этом в торец заготовки вдавливают зубья поводка, что обеспечивает передачу крутящего момента от шпинделя к заготовке.

Из патронов, применяющихся для установки и закрепления заготовок на токарных станках, наиболее распространены самоцентрирующие трехкулачковые патроны.

Для закрепления несимметричных заготовок применяют обычно четырехкулачковые патроны с независимым перемещением каждого кулачка с помощью винта.

При базировании обрабатываемой заготовки по внутренней поверхности применяют разжимные оправки с пневматическим приводом.

Наиболее характерной конструкцией пневматического поводкового патрона является патрон, показанный на рис. 122. В этой конструкции устанавливать и снимать заготовку можно на ходу, не останавли-

вая шпиндель станка. Патрон снабжен автоматически запирающимся плавающим центром. В отверстиях корпуса приспособления установлены плунжеры *7*, в пазах которых находятся зубчатые колеса *5*, вращающиеся на запрессованных в плунжеры *7* осях *6*.

Зубчатые колеса *5* находятся в зацеплении с реечными клиньями *8*, которые своими скосами с помощью крестообразных вкладышей *4*, находящихся в пазах колодок *3*, перемещают колодки с эксцентриковыми кулачками *1* к зажимаемой заготовке. Кулачки *1* вращаются на осях *2*, закрепленных в колодках *3*.

В середине патрона находится втулка *14* с плавающим центром *16*, жестко связанным с корпусом патрона. Головка *10* связана со штоком пневматического цилиндра качалки *9*.

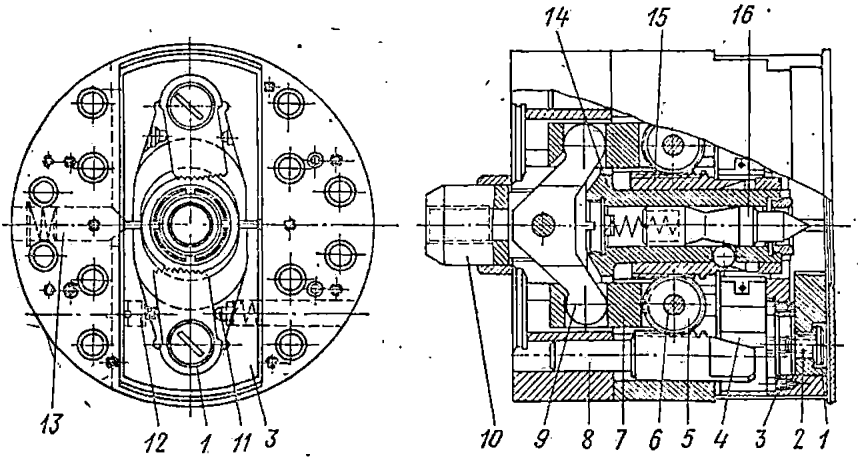


Рис. 122

При зажиме головка *10* толкает плунжеры *7* и подает вперед втулку *15*, сидящую подвижно на втулке *14*. Кулачки *1* пружинными плунжерами *11* прижимаются к упорным винтам *12*, которые обеспечивают прикасание средней части поверхности кулачка к зажимаемой заготовке. При упоре кулачков *1* в обрабатываемую заготовку зубчатые колеса *5*, перекатываясь по зубьям остановившихся реечных клиньев *8*, перемещают втулку *15*, которая своим корпусом и тремя шариками зажимает центр *16*.

Колодки *3* с кулачками *1* в нерабочем состоянии удерживаются пружинными плунжерами *13* на одинаковом расстоянии от центра патрона.

На рис. 123 приведена конструкция задней бабки токарного станка с встроенным вращающимся центром и пневматическим цилиндром для перемещения пиноли. Это устройство позволяет уменьшить затраты времени на перемещение пиноли. Пиноль *2* перемещается с вращающимся центром *1* посредством штока *3* и поршня *5* пневматического цилиндра *4*. Когда сжатый воздух поступает в правую полость цилин-

дра, поршень, перемещаясь влево, толкает штоком пиноль к обрабатываемой заготовке.

Пневматический цилиндр *4* жестко закреплен на корпусе задней бабки. Пневматическим приводом управляет распределительный кран *6* от рукоятки *7*.

Для обработки штучных заготовок на токарных станках применяют пневматические трехкулачковые патроны с регулируемыми кулачками. Применение регулируемых кулачков обусловлено необходимостью обработки заготовок различных размеров. Частые перестановки кулачков (или накладок) вызывают необходимость их протачивать или шлифовать, что, естественно, затрудняет переналадку, особенно в течение рабочего дня.

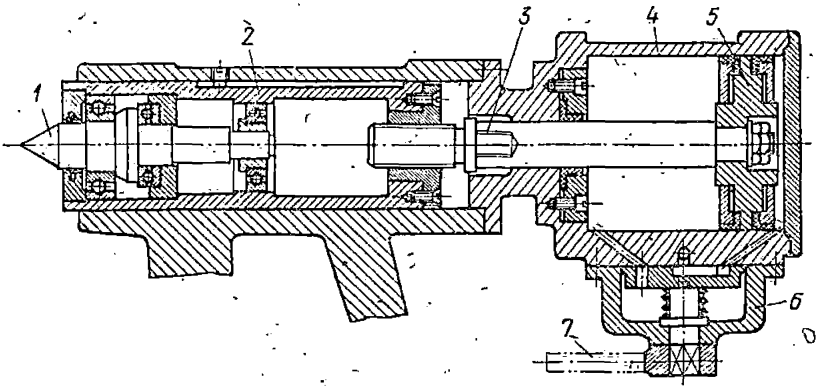


Рис. 123.

Показанная на рис. 124 конструкция позволяет не только регулировать кулачки в зависимости от форм заготовок или ее размеров, но и быстро переналаживать патрон для работы в центрах. В корпусе *2* патрона находится муфта *1*, соединенная резьбой с тягой пневматического привода. В проточку муфты входят длинные концы трех рычагов *3*, а их короткие концы — в пазы ползушек *4*, соединенных винтами *5* с кулачками *6*. На торцевую поверхность патрона нанесена кольцевая риска *7*, а на кулачках имеются деления, что позволяет их предварительно устанавливать.

При переналадке патрона для работ в центрах в центральное отверстие вставляют переходную втулку с нормальным центром, а один из кулачков используют в качестве поводка.

В некоторых случаях обрабатываемые заготовки с буртиками или фланцами целесообразно центрировать на коротких жестких пальцах или в выточках и зажимать вдоль оси. На рис. 125 показана конструкция пневматического приспособления для осевого зажима тонкостенной втулки с буртиком. Втулку центрируют в выточке диска *7*, прикрепленного к корпусу *1*, и зажимают вдоль оси тремя рычагами *6*, посаженными на оси *5*. Рычаги приводят в действие тягой, соединенной с винтом *2*, при перемещении которой передвигается коромысло *4*

вместе с рычагами *6*, зажимающими обрабатываемую заготовку. При движении тяги слева направо винт *2* посредством гайки *3* перемещает

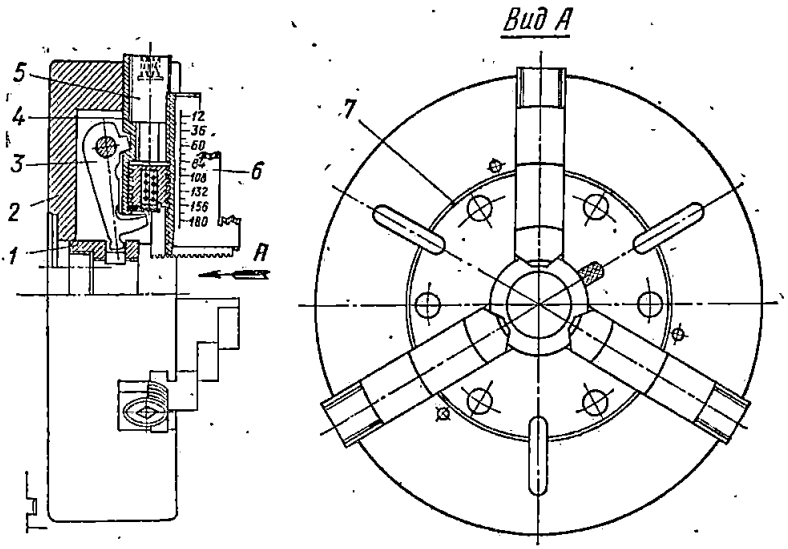


Рис. 124.

в сторону коромысло *4* с рычагами *6*. Пальцы, на которые посажены рычаги *6*, скользят по косым пазам диска *7* и таким образом при раскреплении обработанной заготовки несколько приподнимаются (как

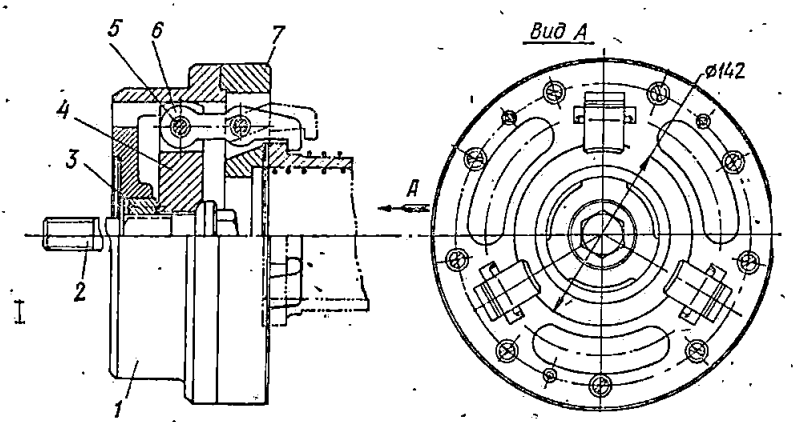


Рис. 125.

показано штрих-пунктиром), позволяя освобождать обработанную и устанавливать новую заготовку.

Закрепление по буртику позволяет обрабатывать как наружные, так и внутренние поверхности.

В практике применяют также пневматические устройства со сменными зажимными рычагами, которые позволяют получать строгую концентричность наружной и внутренней обрабатываемых поверхностей.

Конструкция такого приспособления приведена на рис. 126 и представляет собой корпус *5*, внутри которого на шарнирных осях установлены рычаги *2* и *4*. Короткие концы рычагов выступают наружу, а длинные установлены в прямоугольном пазу штока *3*. В резьбовое отверстие штока ввернута тяга *1*, соединенная со штоком пневматического цилиндра (последний на рисунке не показан).

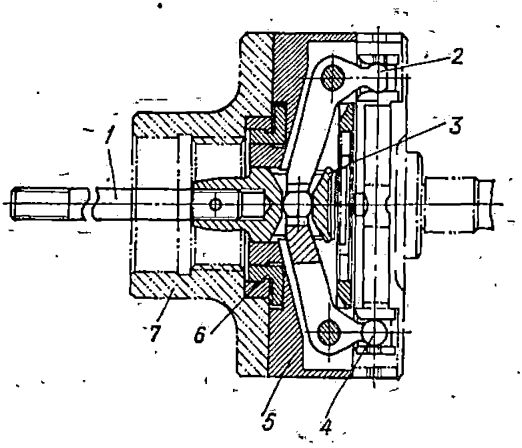


Рис. 126.

Корпус приспособления центрируется на планшайбе *7* станка втулкой *6*. При движении тяги *1* со штоком *3* справа налево короткие концы рычагов *2* и *4* зажимают заготовку.

Применяют также патроны с установкой заготовок по обработанным базам.

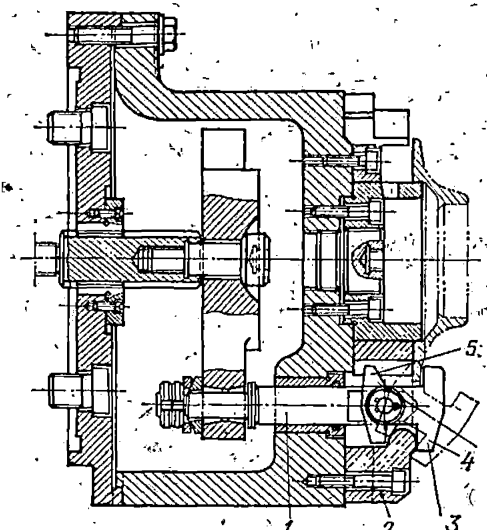


Рис. 127.

На рис. 127 показана конструкция патрона с установкой заготовки по центральному отверстию и зажимом за фланец. При креплении кулачки *3*, сидящие на концах штоков *1*, своими выступами опираются на планку *2*, разгружая штоки от изгибающих сил. При раскреплении обработанной заготовки кулачки *3* нижними наружными выступами *4* упираются в планку *2*, освобождая заготовку, а внутренними выступами *5* сталкивают ее с установочного пальца.

Для обработки на оправках применяют различные виды разжимных пневматических устройств.

На рис. 128 показана конструкция трехкулачковой разжимной оправки. Она состоит из корпуса *2* с чугунной резьбовой втулкой *3*, навинченной на шпиндель станка. Заготовку зажимают тремя кулачками *4*, расположенными под углом 120° в отверстиях корпуса оправ-

ки и выдвигаемыми с помощью втулки *5* с тремя клиновыми плоскостями. Втулка перемещается тягой *1* от пневматического привода. Кулачки *4* возвращаются в исходное положение при освобождении обработанной заготовки пружинными кольцами *6*.

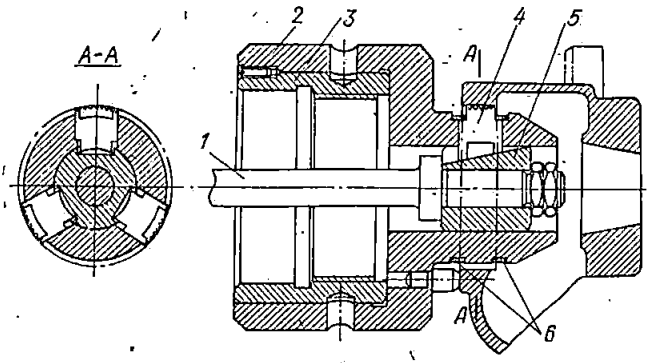


Рис. 128.

Основным недостатком размещения пневматического привода на заднем конце шпинделя является невозможность обработки прутковых заготовок. На рис. 129 показана конструкция пневматического цангового патрона, который позволяет обрабатывать заготовки, проходящие через отверстия шпинделя станка. В данной конструкции

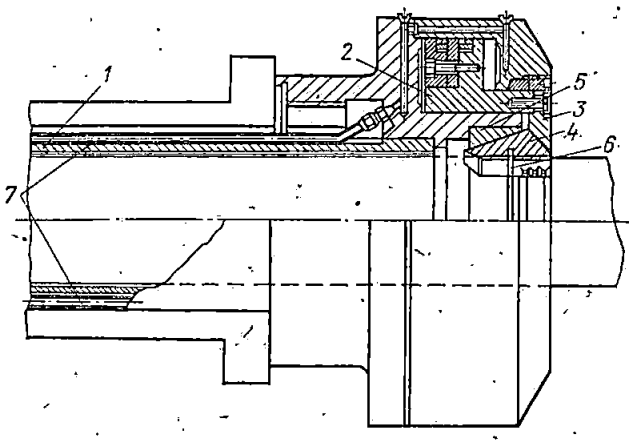


Рис. 129.

сжатый воздух для силового устройства поступает через распределительную коробку, укрепленную на заднем конце шпинделя станка. Воздуховод от распределительной коробки к патрону расположен в двух металлических трубках *7*, впаянных в канавки трубы *1*. При зажиме заготовки сжатый воздух направляется в правую полость патрона, перемещая поршень *2* с привернутым к нему кольцом *3*.

Это кольцо, надавливая на кулачки *4*, перемещает их по конической поверхности втулки *5*, зажимая тем самым заготовку. Для раскрепления обработанной заготовки сжатый воздух направляется в левую полость патрона, сдвигая поршень *2* вправо, при этом кулачки *4* под воздействием пружинного кольца *6* расходятся.

§ 56. Отделочные виды обработки

Притирка. Для притирки применяют притиры, изготовленные из мягких материалов: чугуна, цветных металлов и сплавов, пластмасс, зеркального стекла и др.

К основным притирочным материалам относятся: корунд естественный, электрокорунд нормальный и белый, карбид кремния, окись хрома, порошки алмаза и карбида бора. Размеры абразивных зерен или микропорошков влияют на съем металла и шероховатость поверхности в процессе притирки и доводки, поэтому выбор притирочных материалов зависит от заданных требований.

Притирку производят: свободным абразивом, внедряющимся в процессе обработки в поверхность притира в результате трения с некоторым давлением обрабатываемой поверхности и поверхности притира; предварительно внедренным в поверхность притира абразивом; свободным невнедряющимся абразивом при применении относительно мягкого абразивного материала (например, венской извести, окиси хрома и др.); химическими пастами (например, ГОИ) в среде керосина для снятия окислов с обрабатываемой поверхности. В качестве смазывающей жидкости применяют керосин, бензин и машинное масло.

Наряду с машинной применяют и ручную притирку (например, одновременную обработку парных сопрягаемых деталей). В этом случае сопряженные поверхности двух деталей взаимно притираются одна к другой, выполняя функции притиров.

На рис. 130, *а* показана схема работы притирочного станка с металлическими дисками. В станине *1* помещен привод диска *2*. Диск *4*, соединенный со шпинделем станка, помещенным в колонне *5*, имеет одновременно вращательное движение и вертикальное перемещение. Между двумя вращающимися дисками *2* и *4* помещен сепараторный диск *3* (рис. 130, *б*), который имеет радиальные гнезда, расположенные под некоторым углом α к радиусу диска, куда помещают обрабатываемые заготовки, не закрепляя их жестко. Заготовки обрабатывают дисками *2* и *4*, на которые нанесен мелкозернистый абразивный порошок, смешанный с полирующей жидкостью, или паста. При работе станка заготовки, помещенные между дисками, совершают сложное движение, примерная относительная траектория которого изображена на рис. 130, *в*.

Сепараторный диск *3* имеет поперечное перемещение, что дает возможность путем изменения величины эксцентриситета *е* оси диска относительно оси вращения дисков *2* и *4* обеспечивать их равномерный износ.

Припуски для притирки поверхностей тел вращения составляют 0,05...0,1 мм по диаметру. Притирка обеспечивает получение точно-

сти размеров по 1-му классу и 10-му классу шероховатости поверхности.

Хонингование (шлифование брусками). Этот вид обработки применяют преимущественно для отделки отверстий, однако в практике он встречается и при отделке наружных поверхностей тел вращения, в частности шеек коленчатых валов. Хонинговальное устройство (рис. 131) состоит из разжимных скоб *4* и *5* и инструмента — абразивной головки, представляющей собой разрезанный полый цилиндр, — колодок *3* и *6*, вдоль образующих которых укреплены абразивные бруски *1*, *2*, *7* и *8*.

При вращении заготовок обрабатываемая поверхность охватывается разжимными скобами, которые прижимают колодки с брусками к шейкам коленчатого вала, осуществляя этим самым их обработку.

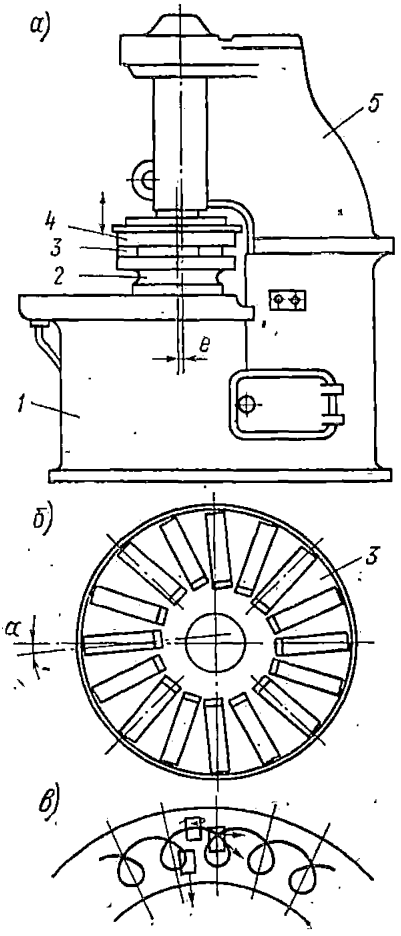


Рис. 130.

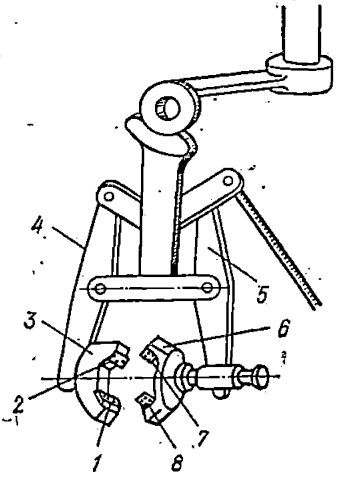


Рис. 131.

При хонинговании применяют бруски из карбида кремния зернистостью 12...30 (в зависимости от заданного класса шероховатости поверхности). В качестве охлаждающей жидкости применяют водно-мыльные растворы или керосин.

Тонкая доводка (суперфиниш) предназначена для обработки поверхности любых форм и в отличие от хонингования допускает только небольшие припуски, но наряду с достижением высокого

класса шероховатости поверхности не может обеспечить исправления геометрической формы поверхностей.

Доводку осуществляют абразивным бруском, совершающим колебательные возвратно-поступательные движения с большой частотой (от 200 до 1000 в минуту) и малой амплитудой (ход брусков от 2 до 6 мм) по поверхности вращающейся заготовки при скорости резания от 0,05 до 2,5 м/с. В результате колебательного движения абразивного бруска по обрабатываемой поверхности гребешки неровностей срезаются и поверхность становится более гладкой и ровной.

На рис. 132, *а* показана схема тонкой доводки шейки коленчатого вала. Абразивная головка *1* с двумя брусками *2* совершает возвратно-поступательное движение по шейке вращающегося коленчатого вала

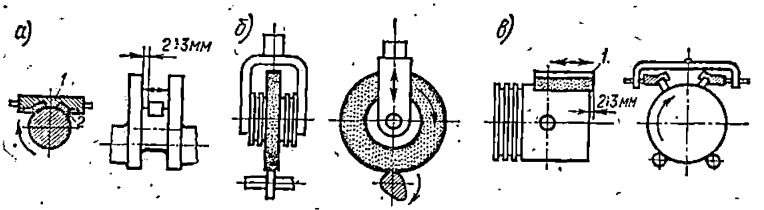


Рис. 132.

с частотой 450 колебаний в минуту и с ходом 2...3 мм, в результате чего поверхность шейки вала доводится до нужных пределов шероховатости.

На рис. 132, *б* приведена схема доводки кулачков распределительного вала. В данном случае абразивным инструментом служит шлифовальный круг, который во время работы находится в контакте с поверхностью кулачка распределительного вала. Распределительный вал совершает одновременно вращательное и колебательное движения, а также поступательное вдоль образующей, благодаря чему и осуществляется тонкая доводка обрабатываемой поверхности.

На рис. 132, *в* изображена схема тонкой доводки наружной поверхности поршня, находящегося только во вращательном движении. Абразивная головка *1* совершает здесь возвратно-поступательное движение с несколько бо́льшим ходом, чем в предыдущих случаях, осуществляя доводку наружной поверхности поршня.

Глава XXII

ОБРАБОТКА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ (ОТВЕРСТИЙ)

§ 57. Виды отверстий и способы их обработки

Обработка отверстий, занимающая в общем объеме механической обработки значительное место, осуществляется при вращательном и поступательном движениях инструмента или заготовки.

Отверстия по способам обработки подразделяют на:

1) крепежные отверстия в различных деталях (отверстия для крепежных болтов, винтов, шпилек, заклепок и т. п.). Точность изго-

товления таких отверстий невысокая (4...5-й классы и грубее). Такие отверстия обычно сверлят на одно- или многошпиндельных сверлильных станках;

2) ступенчатые или гладкие отверстия различной конфигурации и точности в деталях, представляющих собой тела вращения. Их обрабатывают сверлом (в ряде случаев с последующим зенкерованием или развертыванием) или резцом совместно с токарной обработкой наружных цилиндрических поверхностей;

3) ответственные отверстия в корпусных деталях, точность обработки которых определяет правильность работы и долговечность узлов машины (например, редуктора) или качество работы всей машины (например, отверстия для шпинделей в корпусных деталях станков и т. п.). Точность изготовления таких отверстий обычно 2-го класса и выше. Обрабатывают такие отверстия на различных станках универсальных или специального назначения;

4) глубокие отверстия с отношением длины l к диаметру d больше пяти ($l/d > 5$), например отверстия шпинделей станков, пустотелых валов и т. п. Эти отверстия обрабатывают на станках специального назначения;

5) конические и фасонные (с криволинейной образующей) отверстия, которые обрабатывают инструментом с коническими или криволинейными режущими кромками либо растачиванием с копирным приспособлением;

6) профильные (некруглого сечения) отверстия обрабатывают протягиванием, прошиванием и долблением.

В зависимости от назначения отверстий к ним могут предъявляться следующие требования: выдерживание размера отверстия по диаметру с заданной точностью; прямолинейность оси отверстия и образующей его поверхности; правильность цилиндрической формы отверстия (отсутствие конусности, овальности и огранки), перпендикулярность торцевым поверхностям детали.

Обработка отверстий круглого сечения производится на сверлильных, расточных, токарных, карусельных, револьверных станках, токарно-револьверных полуавтоматах и автоматах, протяжных и шлифовальных станках.

Обработка точных отверстий всегда требует больших затрат станочного времени и средств на инструмент, чем аналогичная обработка одинаковой по размерам наружной поверхности с той же степенью точности, так как режущий инструмент для обработки отверстий не обладает такой же жесткостью конструкции, особенно конструкции его крепления (расточные оправки — борштанги, длинные расточные резцы и т. п.), как инструмент для обработки наружных цилиндрических поверхностей.

Для достижения точности при обработке отверстий применяют увеличенное число рабочих ходов, чтобы таким образом постепенно довести погрешности первоначальной обработки до допустимых размеров. Так, если для обтачивания гладкого вала по 3-му классу точности достаточно два рабочих хода, то для обработки отверстия того же диаметра и с той же точностью понадобится не менее четырех опера-

ций или переходов: сверление двумя сверлами, зенкерование и одно- или двукратное развертывание.

При обработке отверстий даже с относительно большим числом переходов в обычных условиях не удается достигнуть высокой точности по соосности обрабатываемого отверстия и какой-либо наружной цилиндрической поверхности обрабатываемой заготовки. Поэтому, когда требуется обеспечить соосность отверстия с другими поверхностями с высокой степенью точности, необходимо сначала окончательно обработать отверстие, а затем, установив заготовку этим отверстием на точную оправку, обработать окончательно поверхности заготовки.

Отверстия диаметром до 80 мм в сплошном металле сверлят спиральными сверлами на сверлильных станках, а также на различного вида станках токарной группы. Для сверления отверстий диаметром свыше 80 мм применяют сверлильные головки специальных конструкций; эту операцию, как правило, выполняют на расточных станках.

§ 58. Обработка на сверлильных станках

Сверлильные станки подразделяют на универсальные, специализированные и специальные. На универсальных сверлильных станках можно выполнять любые операции по обработке отверстий. К универсальным станкам относятся: вертикально-сверлильные, радиально-сверлильные, настольно-сверлильные и др.; к специализированным — сверлильные станки для глубокого сверления. В массовом производстве применяют специальные агрегатные многошпиндельные сверлильные станки, предназначенные для выполнения определенной операции.

По признаку устройства шпинделей многошпиндельные сверлильные станки подразделяют на две группы: с нерегулируемыми (постоянными) и с регулируемыми шпинделями. На многошпиндельных сверлильных станках одновременно сверлят несколько отверстий, количество которых может превышать 200.

На рис. 133 показан общий вид многошпиндельного вертикально-сверлильного станка. На станине *7* смонтированы все механизмы станка. Привод главного движения осуществляется от электродвигателя *6*, который через коробку передач *5* приводит во вращательное движение главный приводной шпиндель *4*, от которого движение передается к рабочим шпинделям *2* через соответствующие зубчатые передачи. Многошпиндельная головка *3* перемещается возвратно-поступательно от привода подач, снабженного устройством для быстрых холостых и медленных рабочих ходов. Стол *1* перемещается возвратно-поступательно по направляющим.

Отличительной особенностью шпиндельной головки многошпиндельного станка является то, что шпиндели *2* настраивают по определенному плану обработки заготовки. Их можно располагать в головке симметрично и несимметрично.

Многошпиндельные станки настраивают для определенной операции, и при необходимости перестройки станка для другой операции нужно заново настроить его, применив другую головку, с новой рас-

становкой шпинделей в ней. Отдельные шпиндели могут быть настроены на разные скорости вращения с одинаковой подачей при одновременной работе шпинделей.

Многошпиндельные и одношпиндельные станки с непостоянными расстояниями между шпинделями снабжаются сверлильной головкой, схема которой показана на рис. 134. Шпиндель *4* вместе со сверлильной головкой *3* перемещается по направляющим станины возвратно-поступательно (вверх и вниз) от приводного механизма. От шпинделя *4* вращение передается через зубчатую передачу z_1, z_2 посредством универсального шарнира через телескопическую трубу *2* к рабочим шпинделям *5*, которые расположены несоосно с приводным шпинделем. Таким образом, осуществляется передача под некоторым углом между приводом рабочего шпинделя и зубчатой передачей.

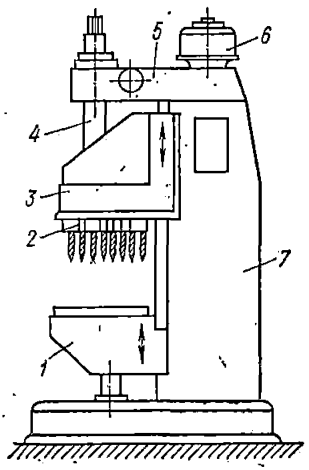


Рис. 133.

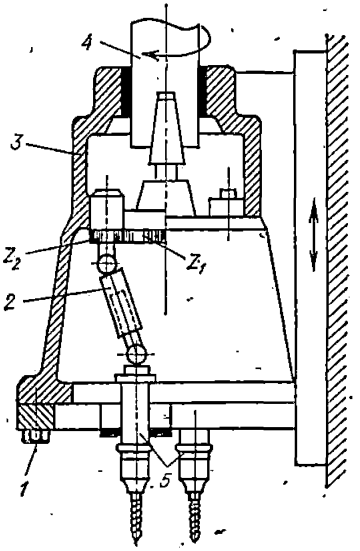


Рис. 134.

Рабочие шпиндели смонтированы на плите *1*, которая имеет пазы, расположенные в различных направлениях, позволяющие перемещать рабочие шпиндели. Следовательно, рабочие шпиндели *5* можно расположить на плите *1* по определенному плану обработки отверстий, а также можно менять наладку для других работ.

При необходимости соблюдения точных межцентровых расстояний между отверстиями применяют кондукторные плиты, которые перед сверлением отверстий подводят к поверхности обрабатываемой заготовки, а затем шпиндели с инструментами направляют для сверления через кондукторные втулки, установленные на плите.

В массовом производстве при обработке заготовок корпусных деталей и других применяют агрегатные многошпиндельные станки, которые состоят из нормализованных узлов и механизмов. На агрегатных станках производят сверление, развертывание, нарезание резьбы и

прочие работы, которые обычно выполняют на сверлильных станках. Агрегатные сверлильные станки во многих случаях встраиваются в автоматические станочные линии. Их можно переналаживать в зависимости от условий и требований технологического процесса. На рис. 135 приведены отдельные схемы компоновки сверлильных агрегатных станков: *а*) двухшпиндельного станка с наклонными шпинделями; *б*) с горизонтальным и вертикальным расположением шпинделей; *в*) с вертикальным расположением шпинделей; *г*) то же, сдвоенного типа; *д*) с горизонтальным расположением шпинделей; *е*) с радиальным расположением пяти шпинделей.

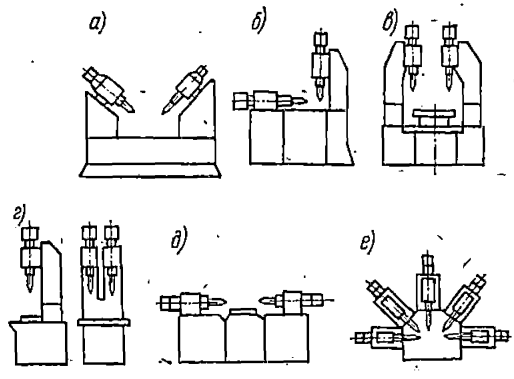


Рис. 135.

Основные виды обработки, которые можно выполнять на сверлильных станках, показаны на рис. 136.

Сверление отверстий производится при вращении сверла и его осевой подаче (рис. 136, *а*). Инструментом служит обыкновенное спиральное или другой конструкции сверло.

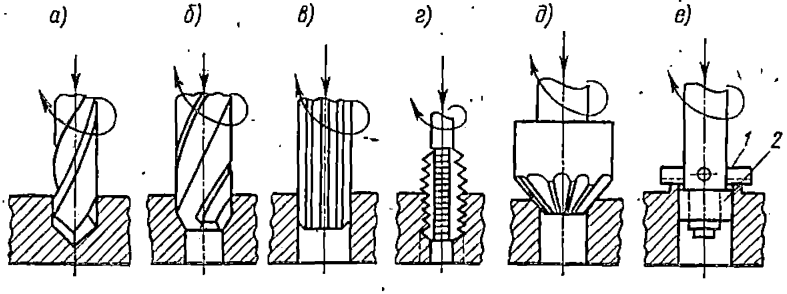


Рис. 136.

На сверлильном станке часто выполняют рассверливание, т. е. вторичную обработку сверлом бо́льшего диаметра ранее просверленного отверстия; это делают для того, чтобы сохранить межцентровое расстояние при сверлении отверстий больших диаметров, когда обработка одним сверлом большего диаметра может дать значительное отклонение оси сверления. При нормальном сверлении достигается точность отверстия по 4...5-му классам.

Зенкерование отверстий (рис. 136, *б*) производится зенкером и служит для улучшения геометрической формы ранее просвер-

ленного цилиндрического отверстия. Оно обеспечивает точность обработки отверстия после сверления на один класс выше.

Развертывание отверстий (рис. 136, *в*) выполняют после зенкерования, для того чтобы устранить грубые следы предыдущей обработки; расположение оси отверстия при этой операции не может быть исправлено. Развертывание производят одно- или многократно. При однократном развертывании достигается точность обработки отверстия по 2...3-му классам, а при двух- или трехкратном развертывании можно достигнуть точности по 2-му классу. Класс шероховатости поверхности отверстия при развертывании может быть доведен до 7...8-го.

Нарезание резьбы (рис. 136, *г*) производят после сверления отверстия под размер нарезаемой резьбы метчиками различных конструкций. При этом необходим обратный ход шпинделя (реверсирование) для вывертывания метчика из заготовки после нарезания резьбы. Исключение составляют так называемые «падающие» метчики (выпадающие из гнезда шпинделя) и специальные гаечные метчики, у которых нарезанные гайки перемещаются последовательно на гладкую часть стержня метчика.

Зенкование (рис. 136, *д*) применяют после сверления отверстия для снятия фаски, например, под потайную головку винта.

Цекование (рис. 136, *е*) предусмотрено для подрезки торца бобышки заготовки или для получения ступенчатого отверстия. Эту операцию выполняют специальным инструментом — цековкой, которая имеет переставной резец *1*, устанавливаемый по размеру диаметра обрабатываемой поверхности, и направляющую часть *2* для обеспечения соосности поверхностей ступенчатого отверстия.

Кроме перечисленных основных работ на сверлильных станках можно выполнять и другие виды обработки отверстий специальными инструментами, например фасонные выточки на цилиндрической и торцевой поверхностях отверстий. Так, при изготовлении в отверстии канавок небольших размеров (шириной 0,8...1 мм) под пружинные кольца для обеспечения параллельности их сторон применяют шлицевые фрезы. Применение шлицевых фрез для изготовления канавок имеет ряд преимуществ, а именно: наличие 30...40 режущих кромок против одной у резца, доступность для обзора при обработке канавок и точность исполнения размера. Обработку канавок шлицевыми фрезами производят на вертикально-сверлильном станке, снабженном специальным устройством (рис. 137). Шлицевая фреза *9*, закрепленная в шпинделе *7* гайкой *6*, получает вращение от шпинделя станка через быстросменный патрон *1* с втулкой *4* и универсальный шарнир *3*. Подача фрезы на глубину канавки в обрабатываемой заготовке *8* осуществляется вручную смещением оси фрезы относительно оси шпинделя станка. Шпиндель *7* фрезы проходит через бронзовую втулку *12*, расположенную эксцентрично в корпусе *5*. При вращении маховика *2*, а следовательно, и корпуса *5* (втулка *12* фиксируется в корпусе фиксатором *10* и защелкой *11*) ось шпинделя *7* смещается. Максимальное смещение шпинделя фрезы относительно шпинделя станка составляет 9,5 мм при повороте маховика на 180°.

Обработка осуществляется в следующем порядке: вначале шпиндель станка подается на необходимую глубину в отверстие, затем станок приводится в движение и фреза подается на необходимую глубину канавки медленным вращением маховика вручную. После окончания обработки канавки шпиндель с фрезой возвращают в исходное положение.

При сверлении глубоких отверстий на обычных сверлильных станках спиральные сверла не могут обеспечить

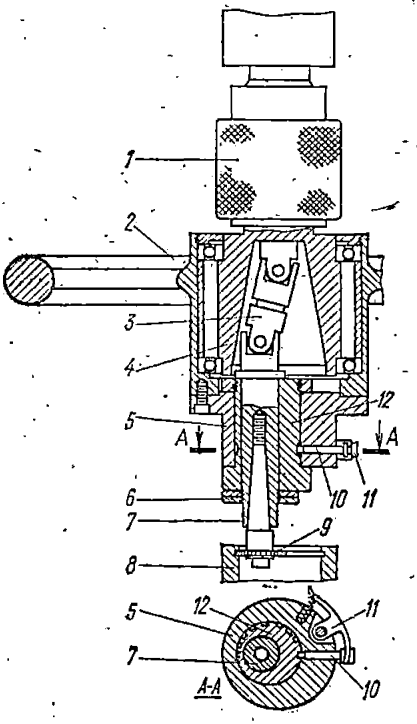


Рис. 137.

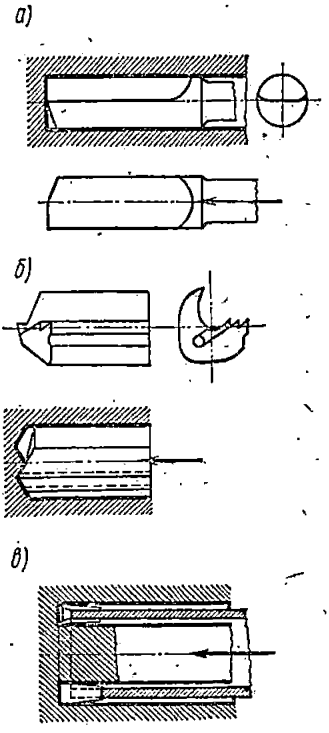


Рис. 138.

правильного направления и прямолинейности оси отверстия. Происходит увод сверла в сторону от направления, заданного осью вращения шпинделя, так как спиральные сверла не в достаточной мере осуществляют прямолинейность направления осевого движения режущих кромок. Прямолинейность оси отверстия в этом случае может быть обеспечена лишь жесткостью сверла и направляющим действием ленточек, расположенных вдоль канавок сверла и скользящих по просверленной части отверстия.

При неодинаковой заточке обеих режущих кромок сверла или же неравномерного их затупления сверло также начинает «уводить» ось отверстия в сторону от оси вращения шпинделя. На увод сверла большое влияние оказывает работа сверла в начальный момент сверления,

когда резание производят лишь поперечной кромкой, перпендикулярной оси сверла. Кроме того, наличие значительных упругих деформаций сверла при работе (продольного изгиба), зазоров в подшипниках шпинделя, неравномерного налипания стружки на главные и вспомогательные режущие кромки сверла создает условия для увода сверла в сторону от оси шпинделя.

Чтобы предотвратить увод сверла или искривление оси отверстия, при глубоком сверлении применяют следующие способы и приемы работы:

1) небольшие подачи, а также тщательную заточку сверла с соблюдением равномерности наклона обеих режущих кромок, наблюдение за износом сверла и налипанием металла на режущие и вспомогательные кромки, надлежащее охлаждение сверла;

2) предварительное засверливание с помощью короткого сверла большого диаметра (с углом $2\varphi = 90°$), которое особенно необходимо при сверлении отверстий сверлами небольших диаметров на револьверных станках и автоматах;

3) сверление с направлением спирального сверла с помощью кондукторной втулки при сравнительно небольших отношениях длины отверстия к диаметру;

4) сверление при вращающейся заготовке; в этом случае имеет место как бы самоцентрирование сверла в противоположность обычной его склонности к уводу.

При вращении обрабатываемой заготовки глубокие отверстия можно сверлить как при невращающемся, так и при вращающемся сверле. Вращение инструмента в этом случае используется как средство повышения скорости резания.

Способ сверления отверстий при вращении заготовки применяют как на токарных станках, так и на станках для глубокого сверления (сверление отверстий в стволах орудий, шпинделях станков, полых валах и т. п.).

Конструкции *специальных* сверл для глубокого сверления предусматривают создание достаточно надежного направления осевого движения режущей части сверла по поверхности уже просверленной части отверстия. Такие сверла делают как с одной, так и с несколькими режущими кромками. Простейшим видом такого сверла является «пушечное» сверло (рис. 138, *а*). У этих сверл имеется только одна режущая кромка и длинная направляющая часть сверла. Соприкосновение направляющей части с поверхностью просверленной части отверстия происходит на дуге, немного большей 180°. Направляющую поверхность рабочей части сверла, соприкасающуюся с поверхностью отверстия, во избежание заедания сверла в отверстии делают с уклоном в направлении от режущей кромки к стержню сверла.

Для правильного направления сверла в начальный момент сверления необходимо предварительно точно расточить отверстие по диаметру рабочей части сверла на глубину не менее половины диаметра сверления. Пушечные и им подобные сверла можно применять для сверления в сплошном металле и для рассверливания отверстий, предварительно просверленных спиральными сверлами меньших диаметров.

Более совершенным видом сверла для глубокого сверления является «ружейное» сверло (рис. 138, *б*). Направляющая часть этого сверла обеспечивает лучшее направление режущей части, так как охватывает дугу окружности отверстия, равную примерно 250...260°. Рабочую часть таких сверл, так же как и пушечных, делают конической в направлении от режущей кромки к стержню. Для уменьшения трения и улучшения охлаждения сверла вдоль направляющей части его снимают лыски. Режущую кромку у ружейных сверл часто делают в виде ломаной линии для лучшего дробления стружки.

Охлаждающая жидкость в большинстве конструкций специальных сверл для глубокого сверления поступает в зазор между стержнем и поверхностью отверстия и затем к режущей кромке сверла под сильным давлением. Далее жидкость, захватывая раздробленную стружку, выливается из отверстия через полую центральную часть головки и стержня сверла.

Ружейные сверла могут работать не только по предварительно просверленному отверстию, но и в сплошном металле.

При работе специальными сверлами применяют подачи в пределах 0,02...0,05 мм/об в зависимости от диаметра отверстия обрабатываемого материала, требуемой шероховатости и точности обрабатываемой поверхности.

Наиболее совершенным видом сверл для глубокого сверления отверстий большого диаметра является пустотелое сверло. При использовании такого сверла в стружку превращается лишь кольцеобразная часть удаляемого металла, внутренняя же часть остается целой и после окончания сверления ее удаляют в виде цилиндрического стержня. Специальные сверла этого вида (рис. 138, *в*) состоят из головки со вставными ножами для вырезания кольцевого паза в сплошном металле и трубы (трубчатого стержня), которая соединяется с головкой сверла с помощью резьбы. Такие виды специальных сверл применяют при обработке на станках для глубокого сверления больших пустотелых валов, длинных шпинделей станков и т. п.

§ 59. Обработка на расточных станках

Расточные станки применяют главным образом для обработки в заготовках корпусных деталей отверстий с точно координированными осями (блоки двигателей, коробки передач и т. п.).

Универсально-расточные станки подразделяют на станки для обычных расточных работ и для точных расточных работ; к последним, в частности, относятся координатно-расточные станки, служащие для обработки отверстий с особо точными межцентровыми расстояниями. Они бывают горизонтальные и вертикальные.

На горизонтально-расточных станках можно сверлить и развертывать отверстия, нарезать в них резьбу и фрезеровать плоскости. Такие станки применяют в единичном и мелкосерийном производстве для обработки заготовок корпусных деталей.

Отверстия больших диаметров в различных заготовках в условиях массового производства растачивают на многошпиндельных расточных

станках, применяя в качестве инструмента расточные головки. В индивидуальном и мелкосерийном производстве отверстия обрабатывают по разметке; в средне- и крупносерийном, а также в массовом производстве применяют устройства для координатного растачивания и кондукторы, т. е. специальные приспособления для направления режущих инструментов.

На столе можно установить специальное дополнительное вращающееся приспособление, чтобы получить круговые движения обрабатываемой заготовки, когда необходимо растачивать отверстия под некоторым углом в горизонтальной плоскости с одной установки.

Обрабатываемую заготовку устанавливают или на столе, укрепляя ее обычными крепежными средствами, или в специальном приспособ-

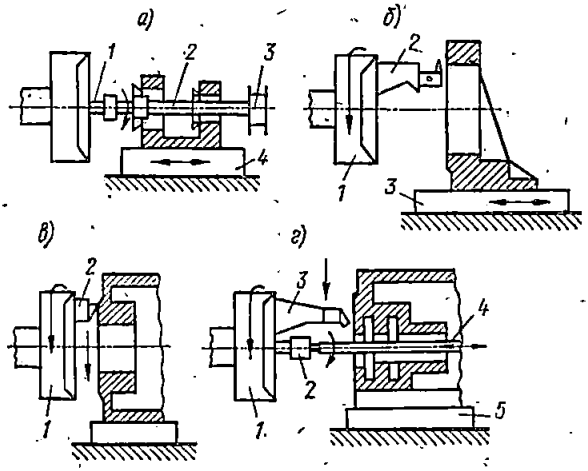


Рис. 139.

лении, если этого требует технологический процесс изготовления детали.

На рис. 139 показаны основные виды работ, выполняемые на горизонтально-расточном станке, с указанием движений основных сборочных единиц станка. На рис. 139, *а* показано одновременное растачивание двух концентричных отверстий резцами, закрепленными на борштанге *2*, которую приводит во вращение шпиндель *1* и поддерживает люнет *3* задней стойки. При обработке заготовки стол *4* перемещается параллельно оси шпинделя (продольная подача). Этот способ растачивания с продольной подачей стола применяется в случае, когда расположенные соосно растачиваемые отверстия имеют значительную длину и возможен прогиб борштанги *2*.

На рис. 139, *б* показано растачивание отверстия большого диаметра с помощью резца, закрепленного в резцедержателе *2*, который укреплен на планшайбе *1*. Продольная подача заготовки осуществляется движением стола *3*, а радиальная подача резца — радиальным перемещением резцедержателя на планшайбе. Этим способом можно

растачивать отверстия большого диаметра, но сравнительно малой длины.

На рис. 139, *в* показана обработка «летучим» суппортом торца заготовки после растачивания отверстия. В данном случае заготовка неподвижна и стол не перемещается. Планшайба *1* вращает резцедержатель *2* с закрепленным резцом, который перемещается радиально, обрабатывая торцевую поверхность заготовки. Эта операция часто встречается при обработке больших несимметричных поверхностей.

На рис. 139, *г* показан пример совместной работы шпинделя *2* и планшайбы *1*. Одновременно растачивается отверстие резцом, закрепленным на борштанге *4*, и обрабатывается торец заготовки резцом, закрепленным в резцедержателе *3*. Заготовка вместе со столом *5* неподвижна.

При координатном растачивании положение осей растачиваемых отверстий задается двумя размерами (координатами), которые отсчитываются от базисных установочных плоскостей детали. Установка оси шпинделя расточного станка на заданные координаты осуществляется с помощью градуированных линеек и нониусов, имеющихся на станке, или с помощью специальных вкладышей, регулируемых по размеру соответствующих координат. Перед растачиванием производится проверка правильности установки детали на столе станка индикатором, закрепленным в шпинделе станка, затем производится установка шпинделя в нулевое положение с помощью ловителя, вставляемого в конце шпинделя станка, с проверкой щупом. После этого можно начать растачивание, предварительно совместив ось шпинделя и ось растачиваемого отверстия. Координатное растачивание повышает точность межцентровых расстояний и их соосность, упрощает обработку и увеличивает производительность.

§ 60. Обработка на шлифовальных станках

Внутреннее шлифование применяют главным образом при обработке точных отверстий в закаленных деталях, а также в тех случаях, когда по каким-либо причинам невозможно применять другие, более производительные методы точной обработки отверстий, например алмазное растачивание, хонингование и др.

Существуют два способа внутреннего шлифования: шлифование отверстия во вращающейся заготовке и шлифование отверстия в неподвижной заготовке. Первый способ применяют при шлифовании отверстий в небольших по размерам заготовках, большей частью представляющих собой тела вращения, например отверстий в зубчатых колесах, в кольцах шарико- и роликоподшипников, а второй — при шлифовании отверстий в заготовках корпусных деталей, которые неудобно или невозможно закрепить в патроне станка.

В первом случае обрабатываемую заготовку зажимают в патроне и приводят во вращательное движение, как это производят на токарном станке (рис. 140, *а*). Во втором случае заготовка устанавливается на столе станка, а шпиндель шлифовального круга помимо вращательного движения, скорость которого соответствует окружной скорости шли-

фовального круга, имеет и планетарное движение со скоростью, соответствующей скорости вращения заготовки при шлифовании (рис. 140, *б*).

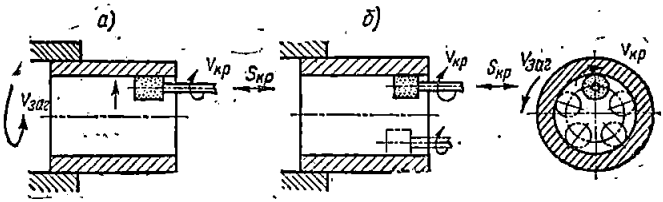


Рис. 140.

В обоих случаях осуществляется продольная подача шлифовального круга вдоль оси шлифуемого отверстия: в первом случае — движением шпиндельной головки, во втором — движением стола.

Наиболее существенное отличие внутреннего шлифования от наружного круглого шлифования заключается в том, что обработка производится кругом малого диаметра. Обычно диаметр круга при внутреннем шлифовании составляет 0,7...0,9 диаметра отверстия шлифуемой заготовки.

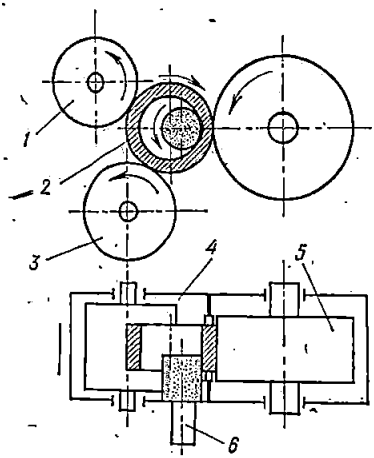


Рис. 141.

В обычных конструкциях шпиндельных головок окружная скорость круга при шлифовании отверстий малого диаметра большей частью не превышает 10 м/с и увеличивается с ростом размеров головок в соответствии с увеличением диаметров шлифуемых ими отверстий, доходя до 30 м/с при диаметрах отверстий свыше 30 мм. Относительно малая жесткость шпинделя шлифовального круга ограничивает глубину резания (поперечной подачей), составляющей (в зависимости от диаметра шлифуемого отверстия) при предварительном шлифовании стали и чугуна 0,005... ...0,02 мм и при чистовом шлифовании — 0,002...0,01 мм на один двойной ход. Меньшие значения поперечной подачи применяют при диаметрах отверстий, не превышающих 40 мм, и при больших отношениях длины отверстия к его диаметру.

Внутреннее шлифование производят вращением с продольной подачей. Величина продольной подачи составляет, как и при круглом наружном шлифовании, 0,4...0,8 ширины круга при предварительном шлифовании и 0,25...0,4 ширины круга — при чистовом, причем меньшие значения применяют при отношении длины отверстия к диаметру, равном трем.

Вследствие малых размеров шлифовальных кругов при внутреннем шлифовании стойкость их, естественно, меньше, чем при других видах

шлифования. Для внутреннего шлифования нужно выбирать более мягкие круги, чем в аналогичных условиях для наружного шлифования, так как при значительной длине дуги контакта круга с обрабатываемой поверхностью возможен более сильный нагрев обрабатываемой заготовки.

При внутреннем бесцентровом шлифовании (рис. 141) обрабатываемую заготовку *2* устанавливают между поддерживающими роликами *1* и *3* и ведущим роликом *5*. Поддерживающие ролики и ведущий ролик помещены в общем корпусе *4*, который перемещается вместе с обрабатываемой заготовкой в сторону шпинделя *6* шлифовального круга. Вращающийся шлифовальный круг осуществляет радиальную подачу на глубину шлифования, одновременно имея возможность перемещаться в продольном направлении относительно обрабатываемой заготовки.

§ 61. Обработка на протяжных станках

Протягивание — процесс обработки поверхности специальным инструментом — протяжкой, зубья которой за один ход снимают весь припуск *z*. На протяжке кроме основных режущих зубьев имеются калибрующие, придающие обрабатываемой поверхности требуемые точность и шероховатость.

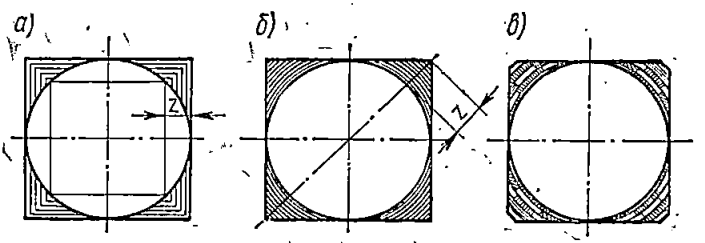


Рис. 142.

Различают три основных вида протягивания: 1) по профильной схеме (рис. 142, *а*), осуществляемое протяжками, все зубья которых имеют профиль, подобный профилю (контуру) поперечного сечения обрабатываемой поверхности, различаясь только размерами, причем каждый зуб последовательно снимает слой металла по форме профиля обрабатываемой поверхности; 2) по генераторной схеме (рис. 142, *б*), осуществляемое фигурными протяжками, зубья которых имеют переменный профиль с дугообразной или прямолинейной формой главной режущей кромки, постепенно переходящий к заданному профилю обрабатываемой поверхности; 3) по прогрессивной схеме (рис. 142, *в*), осуществляемое протяжками, у которых все режущие зубья разбиты на группы, обычно по два зуба, причем каждый зуб группы формирует только определенный участок профиля обрабатываемой поверхности. При этом режущие кромки зубьев перекрывают друг друга.

Первая схема применима при протягивании поверхностей со снятием тонкого слоя металла по всей ширине обработки. Обработка по корке при этой схеме не производится. Генераторная схема упрощает изготовление протяжек, так как в этом случае нет необходимости в заточке зуба протяжки по всему фасонному затылку. Прогрессивная схема в основном применяется при протягивании не обработанных предварительно поверхностей.

Величины припусков под протягивание при обработке цилиндрических отверстий колеблются от 0,5 до 1,5 мм на диаметр в зависимости от диаметра отверстий. Точность обработки по 2...3-му классам. Для глубоких отверстий ($l > 4$) припуск увеличивается на 25...50%. Такие же припуски принимают при протягивании шлицевых, эвольвентных и других аналогичных отверстий, если впадины обрабатывают одновременно с отверстием комбинированной протяжкой. Достигаемый класс шероховатости поверхности 7...8-й.

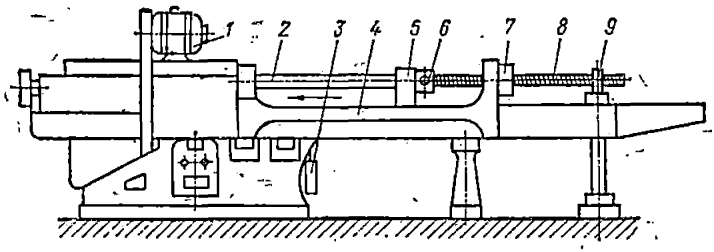


Рис. 143.

На рис. 143 показан общий вид наиболее распространенного горизонтально-протяжного станка. На станине *4* установлены основные сборочные единицы станка; в полой ее части размещен со всеми агрегатами и приводом от электродвигателя *1* гидропривод *3*, который приводит в движение шток *2*. Наружный конец штока покоится на дополнительной опоре, перемещающейся вместе с ползуном *5*. Конец штока снабжен зажимным приспособлением *6* для крепления протяжки *8*, другой конец которой поддерживается подвижным люнетом *9*. Обрабатываемая заготовка *7* при протягивании упирается в торец станины.

Для перемещения штока с различными скоростями рабочего хода и установки протяжек с различной длиной в гидроприводе предусмотрено устройство для изменения длины и скорости движения ползуна *5*.

По конструкции зубьев протяжки бывают режущими и уплотняющими. В первом случае зубья имеют острые режущие кромки, а во втором — округленные, работающие на уплотнение обрабатываемой поверхности.

По профилю протяжки подразделяют на плоские, круглые и фасонные. Различают также сборные протяжки со вставными зубьями и наборные, оснащенные пластинками твердого сплава. Разность высоты двух смежных зубьев определяет толщину слоя металла, срезаемого каждым зубом протяжки, или величину подъема на зуб, которая

зависит от свойств обрабатываемого материала, материала протяжки, жесткости заготовки, формы протягиваемой поверхности и т. д.

Для разделения широкой стружки на поверхности режущей части зубьев прорезаны стружкоразделительные канавки (от 6 до 12). Число калибрующих зубьев составляет 3...8. Чем выше требования к точности обработки, тем больше калибрующих зубьев должна иметь протяжка.

Типы хвостовиков протяжек зависят от применяемого способа крепления протяжки в патроне станка. Наиболее распространенными являются круглые протяжки с прямыми зубьями (рис. 144, *а*). Их выполняют иногда сборными в целях экономии быстрорежущей стали. Для протягивания глубоких отверстий применяют протяжки с винтовыми зубьями (рис. 144, *б*), работающие с поступательным движением вдоль оси. Уплотняющая протяжка (рис. 144, *в*) не имеет острых режущих кромок; ее зубу придают округленную форму, что обеспечивает выглаживание обрабатываемой поверхности. Шлицевые протяжки выполняют так же, как и круглые; в зависимости от формы шлица зубья изготовляют с прямым (рис. 144, *г*), угловым (рис. 144, *д*) или елочным (рис. 144, *е*) профилем.

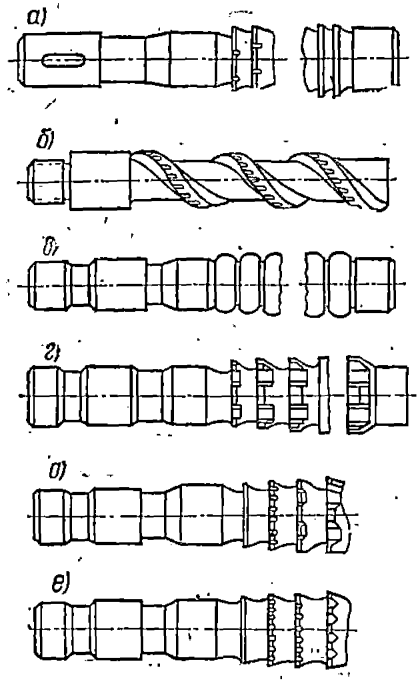


Рис. 144.

Для протягивания многогранных отверстий применяют квадратные, шестигранные, прямоугольные и другого профиля протяжки. Особенностью их конструкций является наличие нескольких ступеней по длине с различными подъемами на зуб.

Для одновременной обработки различных поверхностей шлицевого отверстия применяют комбинированные протяжки, которые предварительно протягивают гладкое отверстие, а затем шлицы. Такие протяжки имеют вначале зубья круглой формы, за которыми расположены зубья, соответствующие форме шлица.

Шпоночные протяжки предназначены для протягивания в отверстиях шпоночных канавок различных форм.

§ 62. Приспособления для сверлильных и расточных работ

Наибольшую часть приспособлений для сверлильных и расточных работ составляют кондукторы, снабженные втулками для направления инструмента. Кондукторы подразделяют на накладные и подвесные

(закрытые и открытые), по виду исполнения (подвижные и неподвижные) и по виду привода (механический и пневматический).

Приспособления с пневматическим приводом для сверлильных работ применяют при обработке больших партий заготовок. Особенно

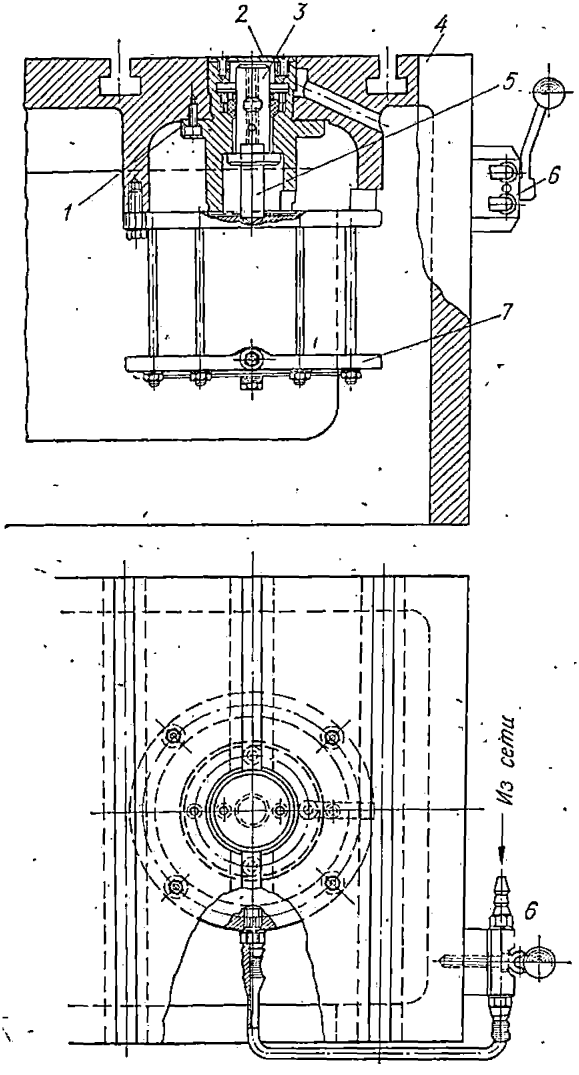


Рис. 145.

широко пневматический привод используют в скальчатых кондукторах, в кондукторах с большим количеством зажимных элементов и в кондукторах для крупногабаритных заготовок.

Скальчатые кондукторы характеризуются подвижной кондукторной плитой, жестко связанной с колонками-рейками, по которым плита

реечным механизмом, действующим от пневматики, поднимается на необходимое расстояние для установки обрабатываемой заготовки, а затем при опускании ее заготовка закрепляется. На опорной плоскости корпуса кондуктора монтируют элементы приспособления для установки заготовки, а в кондукторной плите — соответствующие направляющие втулки для режущего инструмента. Сжатый воздух используется не только для зажима заготовок, но и для облегчения поворота подвижных деталей тяжелых кондукторов.

При сверлении отверстий во фланцах часто применяют накладные кондукторы, используя для зажима заготовки пневмопривод. На рис. 145 показан модернизированный стол сверлильного станка с устройством для зажима заготовки и накладной кондукторной плиты

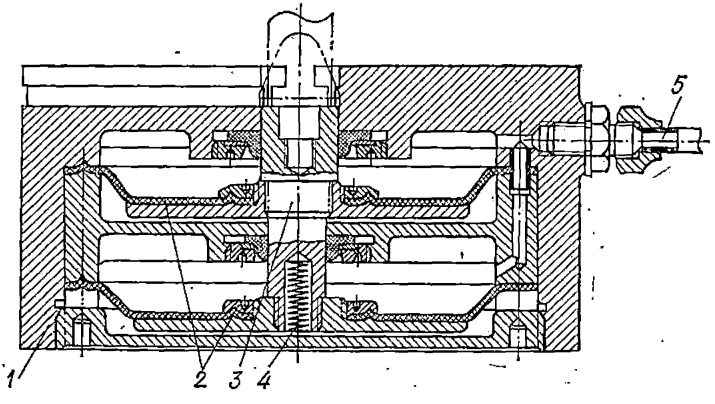


Рис. 146.

сжатым воздухом. Пневматический цилиндр *7* укреплен на приливе стола *4* станка. Шток *5* цилиндра соединен с муфтой *3*, имеющей резьбовое отверстие. Ход штока ограничивается упорной втулкой *1*. В конструкции предусмотрено отверстие для центрирования приспособления при использовании пневматического зажима; в обычном виде это отверстие закрывается заглушкой *2*. Пневматическим зажимом управляет распределительный клапан *6*.

Для сверлильных работ с применением накладных кондукторов имеются конструкции с диафрагменным пневматическим зажимом (рис. 146). В чугунном корпусе *1* помещены две диафрагмы *2* с одним общим штоком *3*. При впуске сжатого воздуха через распределительный кран *5* в полости рабочих камер перемещается шток *3* сверху вниз к зажимам заготовки. В исходное положение шток возвращается пружиной *4*. Кондуктор состоит из подставки с базирующими кольцами или штырями и кондукторной плиты, которую накладывают на заготовку и прижимают к ней гайкой, расположенной в центре кондуктора. Для передачи давления на кондукторную плиту применяют откидную или быстросменную шайбу или чеку.

Типовые схемы пневматических зажимов для кондукторных плит показаны на рис. 147: *а*) с откидной шайбой: *1* — накладной кондук-

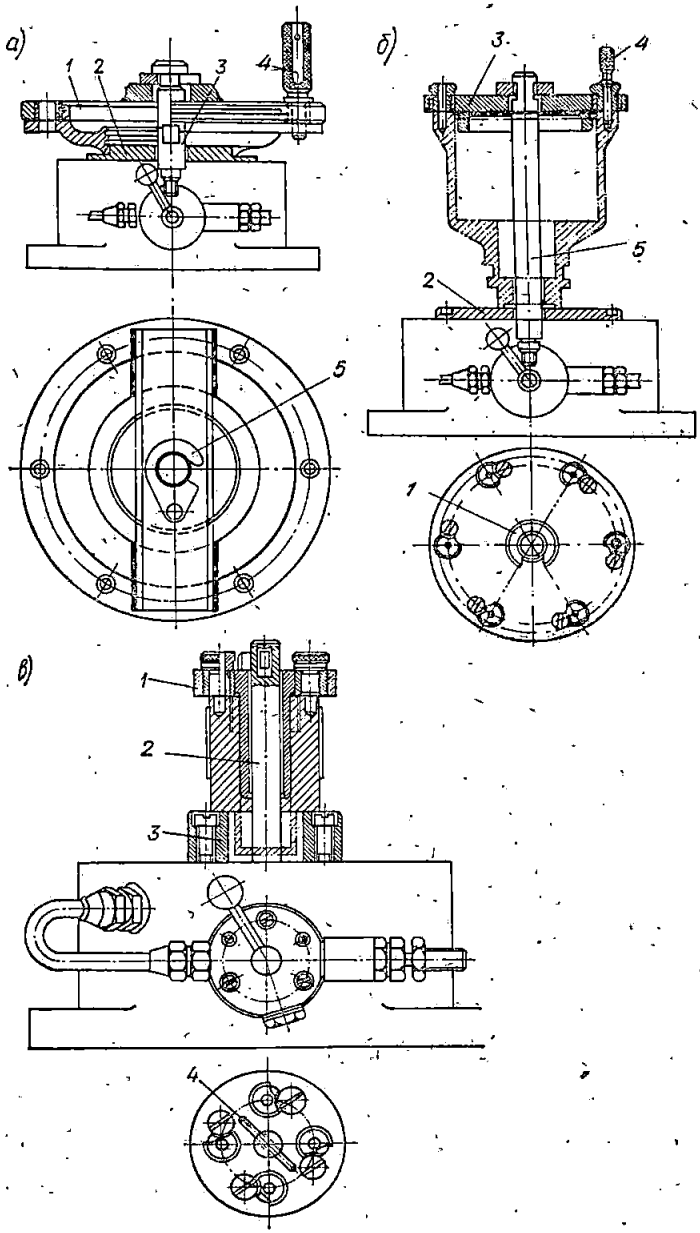


Рис. 147.

тор; *2* — опорный диск; *3* — тяга; *4* — упорный штифт; *5* — откидная шайба; *б*) с быстросменной шайбой: *1* — быстросменная шайба; *2* — опорное кольцо; *3* — кондукторная плита; *4* — упорный штифт; *5* — тяга; *в*) с чекой: *1* — кондукторная плита; *2* — тяга; *3* — опорный диск; *4* — чека.

В практике сверлильных работ применяют также патроны и машинные тиски для зажима заготовок при выполнении операций без использования кондукторных втулок (например, снятия фасок, зенкерования, нарезания резьбы и др.). В этих случаях возможно применение универсальных пневматических зажимов типа пневматического патрона с эксцентриковыми кулачками.

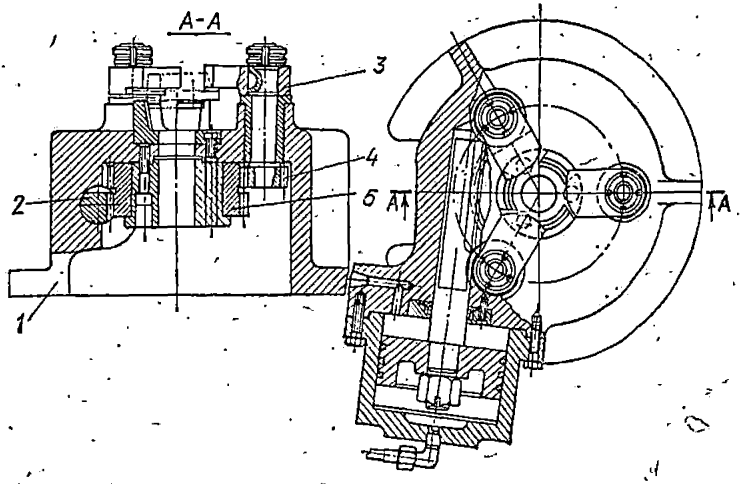


Рис. 148.

На рис. 148 приведена конструкция пневматического трехкулачкового патрона. Под воздействием сжатого воздуха рейка *2* штока пневматического цилиндра, установленного на фланце корпуса *1* патрона, приводит в действие зубчатое колесо *5*, а последнее — зубчатые колеса *4*, которые приводят в действие три эксцентриковых кулачка *3*, расположенных под углом 120° друг к другу. Кулачки, поворачиваясь, сходятся к центру и, центрируя, поджимают заготовку. Окончательный зажим осуществляется силами резания, момент которых поворачивает кулачки, закрепляющие заготовку.

При необходимости обработки отверстий по кондуктору на корпусе трехкулачкового патрона можно установить кронштейн с кондукторной втулкой.

Для сверления отверстий в поковках зубчатых колес, а также для последующей их обработки протягиванием применяют пневматические самоцентрирующие приспособления с эксцентриковыми кулачками. На рис. 149 показано такое двухместное приспособление для одновременного сверления двух заготовок с использованием двухшпиндельной головки. Особенность приспособления — реечно-шестеренчатый диф-

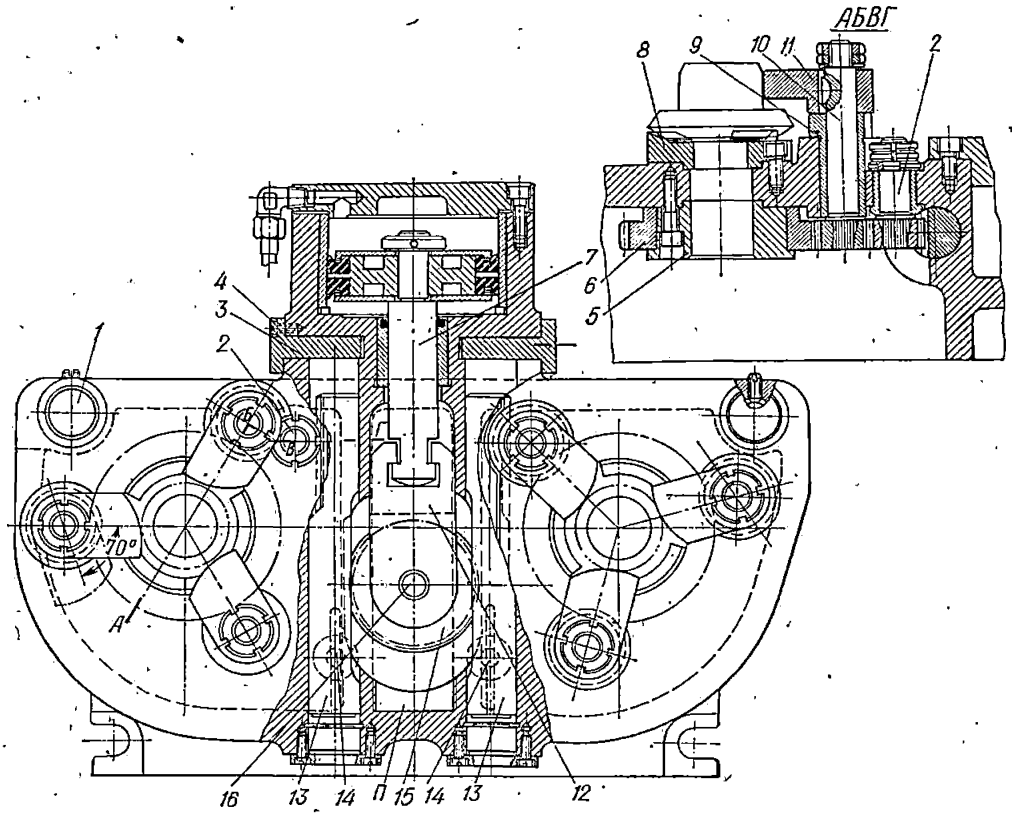


Рис. 149.

ференциальный механизм, благодаря которому две заготовки центрируются и зажимаются от одного пневматического цилиндра.

Обрабатываемые заготовки устанавливают на опоры *8*, укрепленные на корпусе приспособления. Во втулки *9*, запрессованные в корпус, вставлены валики *10*, на которые посажены эксцентриковые кулачки *11*. Зубчатые колеса, выполненные за одно целое с валиками *10*, находятся в зацеплении с зубчатыми колесами *6*, вращающимися на втулках *5*, которые с помощью винтов и штифтов закреплены на корпусе приспособления.

В средней части корпуса имеется паз *П* прямоугольного сечения, в который вложен ползун *12*. В прорези ползуна на оси *16* на шарикоподшипниках установлено зубчатое колесо *15*, которое находится в зацеплении с двумя рейками *13*. Рейки одной стороной вставлены в отверстия корпуса, а противоположной находятся в зацеплении с зубчатыми колесами валиков: правая рейка — с зубчатым колесом валика *10*, левая — с зубчатым колесом валика *2*. Зубчатое колесо валика *2* находится в зацеплении с зубчатым колесом одного из валиков *10* левого гнезда приспособления. Валик *2* необходим для того, чтобы кулачки обоих гнезд приспособления вращались в одну сторону.

Рейки *13* удерживаются от вращения шпонками *14*, укрепленными внутри корпуса. Ползун *12* с помощью Т-образного паза соединен со штоком *7* пневматического цилиндра, корпус которого отлит заодно с корпусом приспособления. Паз *П* в корпусе закрыт сверху крышкой, внутренняя поверхность которой не дает возможность ползуну *12* сдвигаться вверх.

Под действием поршня ползун *12* движется в пазу *П* и через зубчатое колесо *6* передвигает рейки, которые вращают находящиеся с ними в зацеплении валики, а те в свою очередь вращают валики *10* с сидящими на них эксцентриковыми кулачками *11*. При зажиме заготовок ползун *12* движется в направлении от цилиндра и кулачки *11* вращаются против часовой стрелки. Когда кулачки одного из гнезд повернутся до упора в заготовку, рейка останавливается, а зубчатое колесо *15* начинает вращаться на оси *16*, перекатываясь по остановившейся рейке, и продолжает двигать вторую рейку, пока кулачки второго гнезда не дойдут до упора в заготовку, установленную в этом гнезде; после этого движение ползуна *12* прекращается и обрабатываемые заготовки в обоих гнездах оказываются сцентрированными и надежно зажатыми в кулачках *11*. При освобождении обработанной заготовки рейки, совершая обратное движение, упираются в планки *3*, которые вложены в пазы, профрезерованные в корпусе, и прикреплены винтами *4*. Две скалки *1*, укрепленные в корпусе, служат для направления двухшпиндельной сверлильной головки.

Применение этого приспособления вместо однопозиционного с ручным зажимом увеличивает производительность труда.

На рис. 150 показаны тиски с приводом центрирующих губок *1* от пневматической камеры *4*. Усиливающий рычажный механизм *6*, соединенный со штоком *3*, осуществляет возвратно-поступательное движение ползунов *2* с прикрепленными к ним губками *1*. При впуске сжатого воздуха в полость *А* кулачки сходятся и зажимают заготовку;

при переключении крана губки возвращаются в исходное положение под действием пружин *5*.

Накладные кондукторы не могут широко применяться из-за необходимости неподвижного закрепления плиты на весь период обработки данной заготовки. В скальчатых кондукторах кондукторная плита подвижна, что облегчает установку и закрепление заготовок. Кондукторная плита перемещается с помощью скалок (колонок). Подъем и опускание производят специальным реечным механизмом.

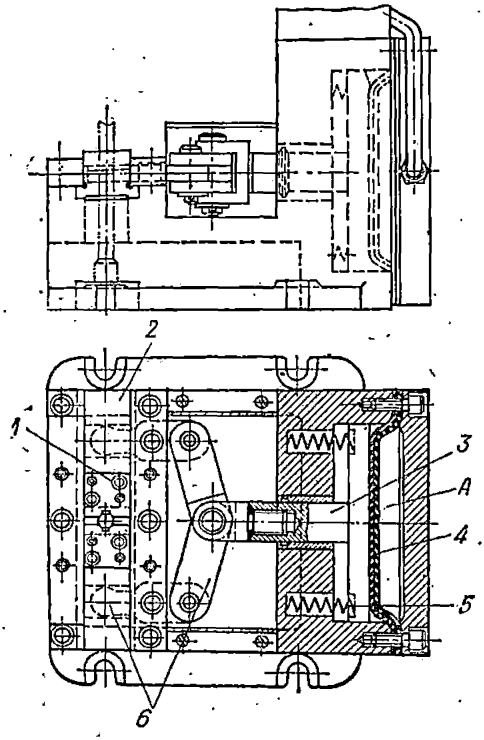


Рис. 150.

На опорной плоскости корпуса приспособления устанавливают элементы приспособления, а в кондукторной плите предусматривают отверстия под направляющие кондукторные втулки.

На рис. 151 показан скальчатый кондуктор с реечным механизмом и кондукторной плитой на двух скалках. Кондуктор состоит из корпуса *6*, двух скалок *4* с рейками, кондукторной плиты *5* и зубчатого валика *7*. В привод кондуктора входит пневматический цилиндр *11*, прикрепленный к корпусу *6* кондуктора. Движение от штока *10* поршня к зубчатому валику *7* передает рейка *3*, соединенная со штоком сухарями *9* и шариком *8*.

Пневматическим цилиндром управляет трехходовой распределительный кран *12*. При зажиме заготовки сжатый воздух направляется через воздухопровод *1* в левую рабочую полость цилиндра. Поршень *2*, передвигаясь вправо, перемещает шток с рейкой *3* и вращает зубчатый валик *7* по направлению движения часовой стрелки, в результате чего обе скалки *4* с кондукторной плитой *5* опускаются на заготовку. При перемещении поршня *2* справа налево отработанный воздух удаляется через воздуховод *1* в атмосферу и кондукторная плита отводится в исходное положение.

На рис. 152 приведена конструкция многоместного кондукторного устройства поворотного типа с пневмоприводом. На поворотном столе *7* смонтировано восемь кондукторов *6*, управляемых двумя распределительными кранами *10*, по четыре кондуктора в каждой группе. Четыре кондуктора занимают рабочее положение, а еще четыре — загрузочное; при повороте стола на 180° первые четыре кондуктора

перемещаются в загрузочное положение, а вторые четыре — в рабочее.

Сжатый воздух подводится к поворотному столу через распределительную муфту *8* и от воздуховода *4* — к распределительным кранам *10*. Корпус муфты *8* укреплен на поворотной части стола *7*, а палец муфты *9* со шлангом *3* — на станине *11* станка. Заготовки устанавливают на планки *2* и центрируют трехлапыми призмами *1*. Отверстия

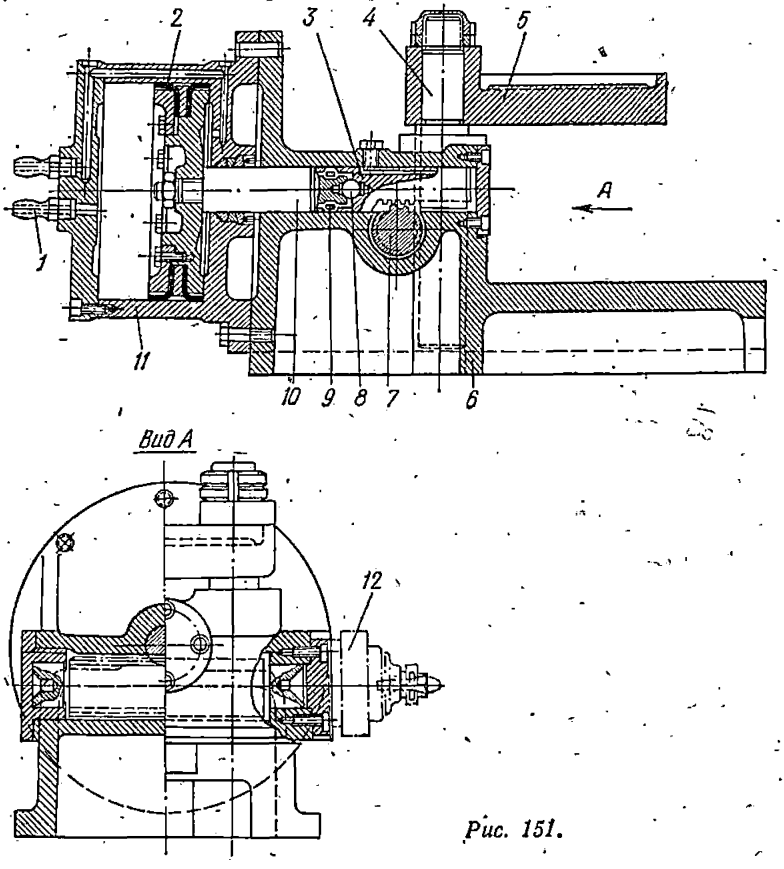


Рис. 151.

сверлят четырехшпиндельной головкой, направляемой по скалкам *5*, одновременно в четырех заготовках.

Выполнение операций растачивания требует соблюдения ряда условий выбора места зажима заготовки, конструкции зажимов и других элементов конструкции приспособления для расточных работ. Так как растачивание, особенно чистовое, является точной операцией, то необходимо исключить вибрации зажимного устройства и соблюдать условия, предотвращающие деформацию обрабатываемой заготовки.

На рис. 153 показано приспособление с пневмоприводом для растачивания цилиндров. На шпинделе передней бабки расточного станка

укрепляют самоцентрирующий рычажный патрон, который действует в результате приложения осевого усилия от пневматического привода. На основании *11* приспособления размещена стойка *9* с подвижной гильзой *4*. Внутри гильзы находится втулка *3* для направления рас-

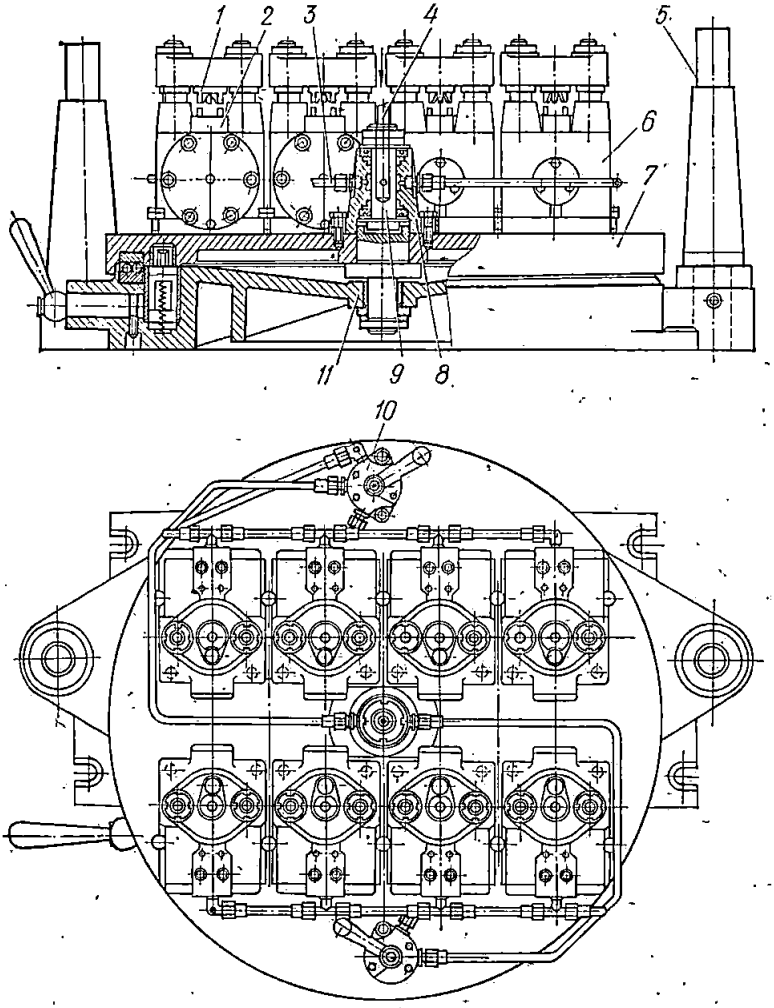


Рис. 152.

точной головки. В переднем конце гильзы на коническом роликовом подшипнике установлена крышка *2* с коническим отверстием для центрирования заготовки.

Заготовку зажимают патроном качающегося пневматического цилиндра *6* двустороннего действия, шток поршня которого шарнирно соединен с рычагом *7*, посаженным на один валик с зубчатым колесом *8*. Зубчатое колесо *8* находится в постоянном зацеплении с рейкой *5*

гильзы *4*; рейка передвигается по направлению к бабке под воздействием штока в результате поступления сжатого воздуха в правую полость цилиндра.

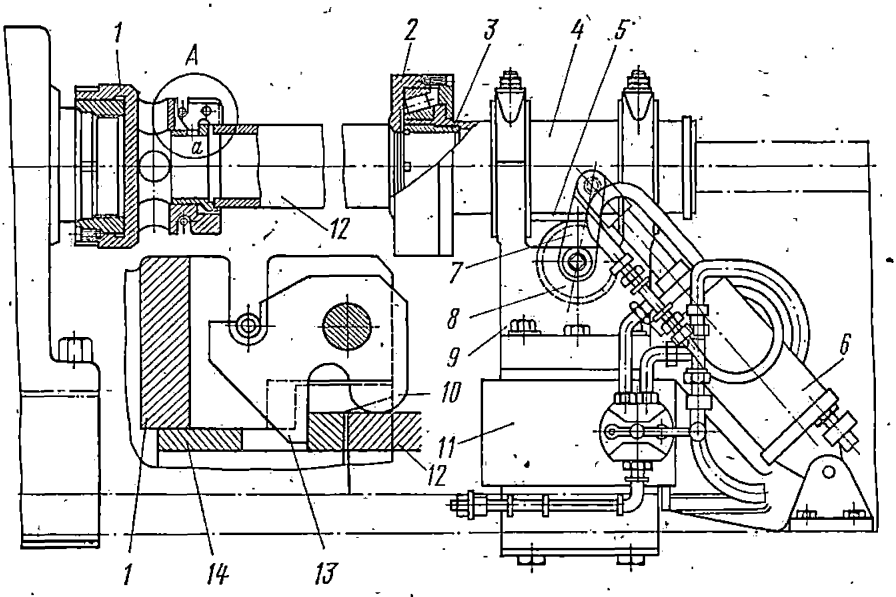


Рис. 153.

После центрирования заготовка *12* направляется левым концом внутрь корпуса патрона *1* и, упираясь торцом в центрирующую втулку *14*, отодвигает ее влево, в то время как рычаги *10*, входящие высту-

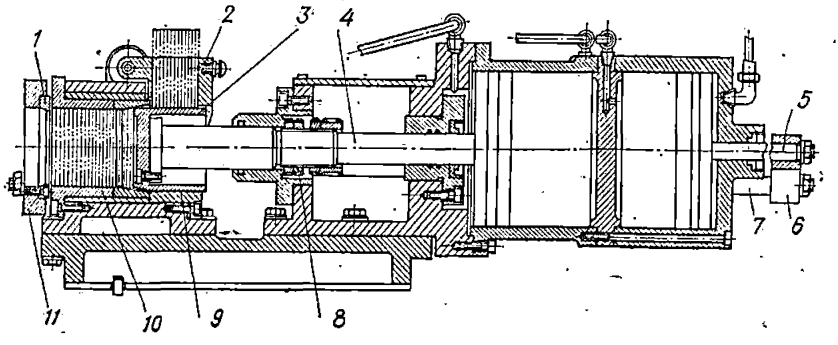


Рис. 154.

пами *13* в прорезь втулки, поворачиваются вокруг своих осей и зажимают заготовку в приспособлении.

Для растачивания поршневых колец на двухшпиндельном горизонтально-расточном станке применяют двухпозиционное пневматическое приспособление (рис. 154) со сдвоенным пневматическим ци-

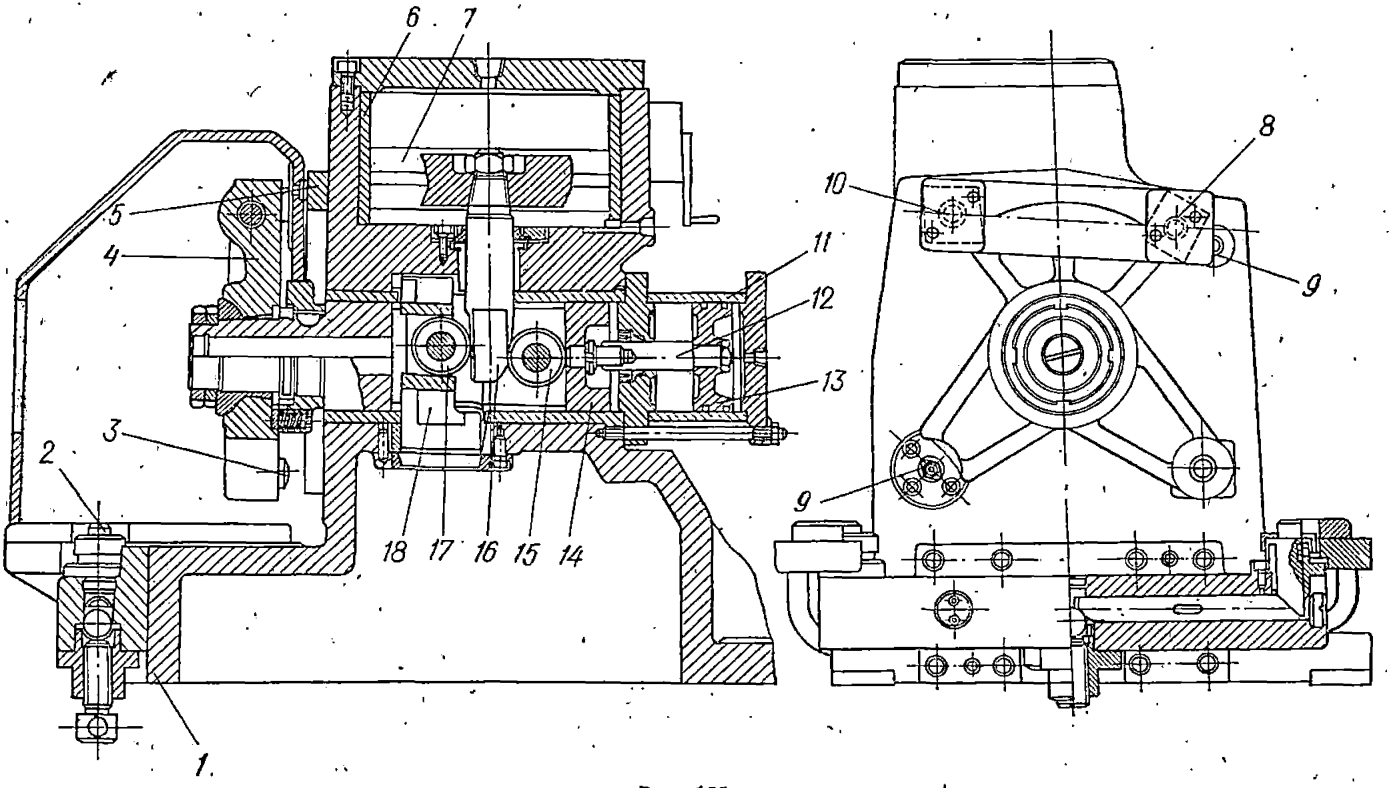


Рис. 155.

линдром. Помещенные в магазине *2* поршневые кольца при отходе плунжера *3*, сидящего на штоке *4* пневматического цилиндра, поступают вниз на вкладыш *9*. Каждая позиция снабжена двойным пневматическим цилиндром, и сжатый воздух подается одновременно во внутренние камеры цилиндров; шток *4* заталкивает обрабатываемые кольца в стакан *10* до положения, ограниченного гайками-упорами *8*. С помощью второго крана воздух направляется в наружные камеры цилиндров, после чего шток *5* посредством траверсы *6* и штанги *7* перемещает плиту *11*, которая кольцом *1* и стаканом *10* прижимает обрабатываемые кольца к торцу плунжера *3*. После обработки колец штоки движутся в обратном направлении, плита *11* отходит от торца стакана *10*, а обработанные кольца выталкиваются плунжером *3*.

Применение приспособлений с пневматическим приводом для растачивания заготовок корпусных деталей позволяет значительно снизить вспомогательное время.

На рис. 155 приведена конструкция приспособления для растачивания картера сцепления. Основными деталями приспособления являются: корпус *1*, горизонтальный пневматический цилиндр *11*, вертикальный пневматический цилиндр *6*, зажимная планка *4*, сухари *14* и *18*, упорный ролик *15* и опорный ролик *17*.

Обрабатываемую заготовку (картер) отверстиями устанавливают в приспособление на фиксаторы *9*. При повороте распределительного крана сжатый воздух поступает в пневматический цилиндр *11*, шток *12* которого соединен с сухарем *14*. Поршень *13* пневматического цилиндра *11*, передвигаясь вправо, прижимает обрабатываемую заготовку планкой *4* к опорному кольцу *5*. Планка *4* опирается на шаровую пяту, благодаря чему ее упоры самоустанавливаются. Обрабатываемую заготовку зажимают упоры *10*, *8* и *3*, из которых упоры *10* и *8* подвижно укреплены в планке *4* и взаимно устанавливаются, опираясь на шарики.

На следующем повороте распределительного крана включается пневматический цилиндр *6*, который продвигает поршень *7* со штоком *16* вниз до упора в ролик *17*, установленный в сухаре *18*; шток, нажимая скосом на ролик *15*, зажимает обрабатываемую заготовку в приспособлении упорами планки *4*. Шток *16* имеет скошенные лыски у торца под углом 30° и далее под углом 10°, близким к углу самоторможения, вследствие чего планка *4* стопорит. Для предотвращения вибрации при растачивании обрабатываемую заготовку снизу подпирают упорами *2*.

§ 63. Приспособления для протяжных работ

При внутреннем протягивании протяжка перемещается через предварительно просверленное или расточенное отверстие и по мере прохождения придает ему соответствующую форму, размеры и шероховатость поверхности. Протяжка соединяется с кареткой штока протяжного станка специальным патроном той или иной конструкции.

При протягивании отверстий, за исключением случаев координатного протягивания, обрабатываемая деталь центрируется направляющим участком (шейкой) протяжки и усилием резания прижимается к опорной поверхности планшайбы станка. Поэтому приспособления для внутреннего протягивания не имеют специальных зажимных механизмов и отличаются простотой.

На рис. 156 показаны приспособления для протягивания отверстий у деталей с обработанным базовым торцом, перпендикулярным оси отверстия. В приспособлении (рис. 156, *а*) для протягивания круглого отверстия опорный фланец *2* сцентрирован и закреплен на планшайбе *1* станка. В приспособлении на рис. 156, *б* для протягивания шлицевого отверстия протяжка направляется по предварительно расточенному отверстию детали, сама же деталь центрируется обработанным хвостовиком в сменной втулке *3*, установленной в переходной планшайбе *2*; *1* — планшайба (стол) станка. Если базовый торец детали не обработан или не перпендикулярен оси, она должна иметь возможность самоустанавливаться (центрироваться) по оси протяжки, иначе последняя в процессе обработки будет изгибаться, что может привести к ее поломке. В этих случаях применяют приспособления со сферической самоустанавливающейся опорой, которые позволяют детали с необработанным или косым торцом центрировать по оси протяжки. Для того чтобы сферическая опора была самоустанавливающейся, необходимо при ее конструировании соблюдать условие

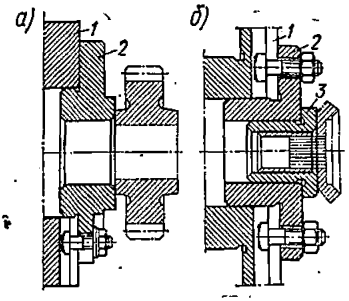


Рис. 156.

$$h/R \geqslant \sin\varphi,$$

где h — расстояние от оси сферической опоры до точки приложения силы P, действующей на торец этой опоры; R — радиус сферической опоры; φ — угол трения в сопряжении по сфере; $\operatorname{tg}\varphi = f$ (f — коэффициент трения).

При протягивании отверстий в крупных деталях большой длины применяют приспособления с плавающими опорами (рис. 157). Приспособление центрируется кольцом *1*, закрепленным в его корпусе, и крепится на планшайбе горизонтально-протяжного станка. Деталь центрируется протяжкой и усилием резания прижимается обработанным торцом к втулке *2*.

Для того чтобы перед началом протягивания рабочий не держал деталь на весу, на корпусе приспособления предусмотрена подставка с призмой *3*, на которую предварительно устанавливается обрабатываемая деталь. Призма сконструирована самоустанавливающейся по цилиндрической поверхности подвижной опоры *4*, плавающей на шести плунжерах *5*. Пружины *6* плунжеров подобраны соответственно массе детали так, чтобы обрабатываемое отверстие располагалось прибли-

зительно по центру станка. Шпонка *7* предохраняет опору *4* от проворачивания. Кожух *8* защищает трущиеся поверхности деталей *3*, *4* и *5* от попадания стружки.

Протяжки соединяются с кареткой штока станка с помощью специальных патронов. Корпус обычного патрона крепится своим резь-

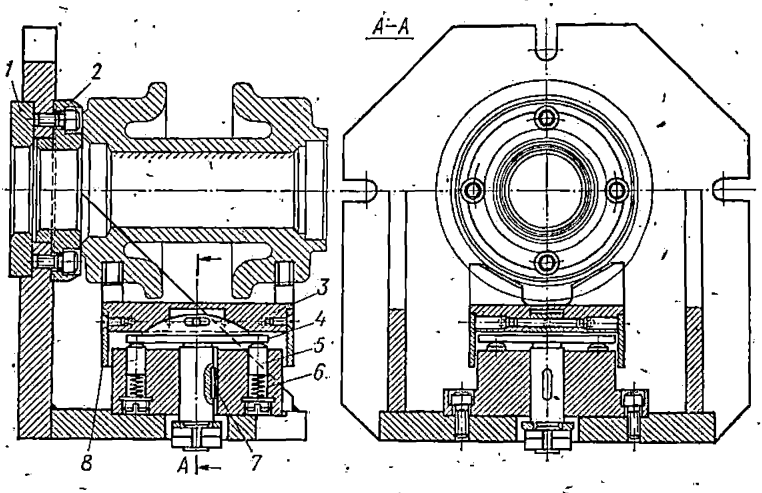


Рис. 157.

бовым концом в каретке штока, а хвостовик протяжки вставляется в отверстие патрона и закрепляется в нем или клином, если на хвостовике имеется поперечное окно, или скобой, если на конце протяжки предусмотрены специальные вырезы. Если протяжку необходимо снимать после каждого прохода, то такой способ крепления малопроизводителен.

На рис. 158 показана конструкция быстродействующего патрона. В корпусе *5* патрона помещены два кулачка *4*. Сферической частью кулачки упираются в гнезда корпуса *5*. Под действием толкателей *3* и пружин *2* заостренные части кулачков постоянно сведены вместе. Усилие пружин регулируют винтами *1*. В каретке протяжного станка патрон крепится через окно в хвостовике клином.

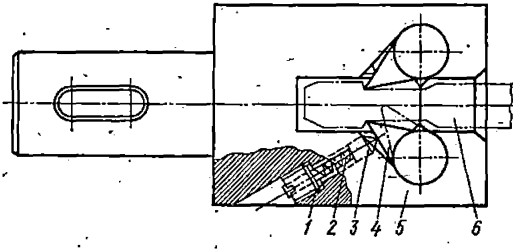


Рис. 158.

Протяжка *6* с обрабатываемой деталью заводится с правого торца патрона. Кулачки *4*, преодолевая сопротивление пружины, расходятся, а затем заскакивают в зажимчики хвостовика и удерживают протяжку во время протягивания. По окончании операции протяжку поднимают вверх и выводят через прорезь корпуса.

§ 64. Отделочные виды обработки отверстий

К основным отделочным видам обработки отверстий относятся тонкое, или алмазное, растачивание, хонингование (шлифование брусками) и притирка.

Тонкое растачивание применяют главным образом для обработки цветных металлов и их сплавов, так как отделка отверстий заготовок из этих материалов шлифованием сопровождается засаливанием шлифовального круга, что затрудняет обработку. Тонкое растачивание характеризуется незначительной глубиной резания (0,05...0,3 мм) и небольшими подачами (0,02...0,12 мм/об) при высоких скоростях резания (120...1000 м/мин и выше). Обработку осуществляют алмазными резцами или резцами, оснащенными пластинками из твердого сплава.

Алмазные резцы обладают высокой стойкостью, доходящей до 200...300 ч. Резцы с пластинками из твердых сплавов, с хорошо доведенной режущей кромкой также обеспечивают высокое качество обработанной поверхности, однако стойкость их значительно меньше.

Основными факторами, влияющими на точность обработки при тонком растачивании, являются тщательная доводка режущей кромки инструмента и вследствие этого малый износ его при высокой твердости, небольшое удельное давление резания, большие скорости резания и высокая точность оборудования. Большое значение при этом виде обработки имеют припуск под растачивание и точность предшествующей операции. Повышенный припуск и неточность предшествующей обработки ухудшают условия работы режущего инструмента.

Для тонкого растачивания применяют специально приспособленные станки. Заготовку на этих станках закрепляют неподвижно, а вращение получает режущий инструмент, что исключает влияние дисбаланса обрабатываемой заготовки на точность обработки. Для тонкого растачивания корпусных деталей наиболее применимы горизонтально-расточные станки; для тонкого растачивания металлоемких корпусных деталей — вертикально-расточные станки.

Тонкое растачивание обеспечивает точность обработки в пределах 1...2-го классов и шероховатость поверхности по 7...10-му классам с отклонениями от правильной геометрической формы (овальность, конусообразность, огранка) не более 0,003...0,005 мм.

Хонингование (шлифование брусками) является основным видом отделочной обработки отверстий. Инструмент (рис. 159) — доводочная головка (хон) — представляет собой цилиндр *4*, вдоль образующих которого расположено шесть абразивных брусков *3*, укрепленных на соответствующих планках *5* и соединенных попарно с радиальными стержнями *6*, которые входят в соответствующие пазы головки. Внутри головки смонтирован двусторонний конический регулируемый стержень *1*, с помощью которого радиальные стержни вместе с абразивными брусками раздвигаются, регулируя диаметральный размер и компенсируя износ абразивных брусков. Абразивные бруски соединены между собой попарно пружинами *7*. Доводочную головку соединяют со шпинделем хонинговального станка шарниром.

Шпиндель станка сообщает доводочной головке одновременно вращательное (20...50 м/мин при обработке стали и 65...80 м/мин при обработке чугуна) и возвратно-поступательное (10...20 м/мин) движения в отверстии обрабатываемой заготовки *2*. При этом хон абразивными брусками сглаживает поверхность обрабатываемого отверстия заготовки и доводит его до нужного размера и шероховатости. Точность отверстия после хонингования соответствует 1...2-му классам и шероховатости поверхности в пределах 9...13-го классов.

В процессе хонингования могут быть исправлены погрешности формы отверстия (конусообразность, овальность, бочкообразность и др.), если они остались после предыдущей операции.

Припуск на хонингование зависит от точности предыдущей операции; обычно он составляет 0,01...0,2 мм (при подготовке поверхности под хонингование шлифованием припуск составляет 0,01...0,05 мм).

На качество хонингования влияют характеристика абразивных брусков и режимы обработки. Абразивные бруски изготовляют из электрокорунда зернистостью 8...3. Применяют также бруски из синтетического алмаза.

Оптимальный режим обработки при хонинговании следующий: окружная скорость доводочной головки 30...60 м/мин, скорость доводочной головки 30...60 м/мин, скорость возвратно-поступательного движения 10... 15 м/мин.

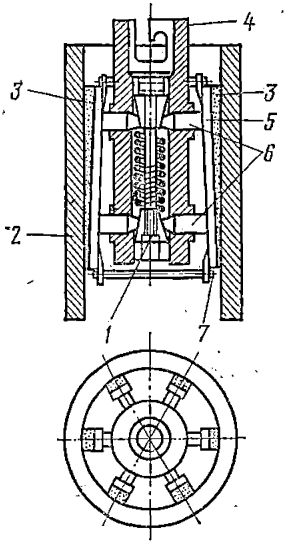


Рис. 159.

При хонинговании отверстий применяют охлаждающие жидкости, составленные из смеси керосина (90%) и масла (10%), а в некоторых случаях специальные смеси, состоящие из керосина с осерненным маслом, стеарина и других материалов.

Притирка — способ отделки отверстий вращающимся притиром. Отверстия притирают лишь в единичном и мелкосерийном производстве при обработке точных небольших отверстий, когда применение хонингования затруднительно.

Тонкую доводку (суперфиниш) для отделки отверстий не применяют. При повышенном требовании к шероховатости поверхности ее подвергают многократному хонингованию.

Обработка взрывом. Представляют интерес опыты по обработке поверхностей с использованием метательной энергии взрывчатого вещества. Их проводили для обработки отверстий (в этом случае пуля являлась режущим инструментом) и для наружных поверхностей, когда деталь, посылаемая с большой скоростью, встречала на своем пути режущий инструмент.

Эти исследования показали существенное улучшение обрабатываемости, характеризующейся, в частности, снижением усилий резания,

температуры, износа режущего инструмента, повышением качества обработанной поверхности (9...12-й классы) и резким повышением производительности. Так, при обработке этим способом заготовки из отожженной стали со скоростью резания 45 720 м/мин съем металла составлял 98 300 см³/мин, что в 245 раз превышает съем металла при обычном резании на токарном станке (≈400 см³/мин).

На рис. 160, *а* показана схема малогабаритной установки для обработки сквозных отверстий, пазов и шлицев на наружных и внутренних поверхностях в заготовках деталей с наибольшей высотой 50 мм и шириной 150 мм, созданной в МВТУ им. Баумана. В этой установке используется энергия выстрела (обычный охотничий патрон), но могут быть применены и другие источники энергии: взрыв бензина, пневматика и др.

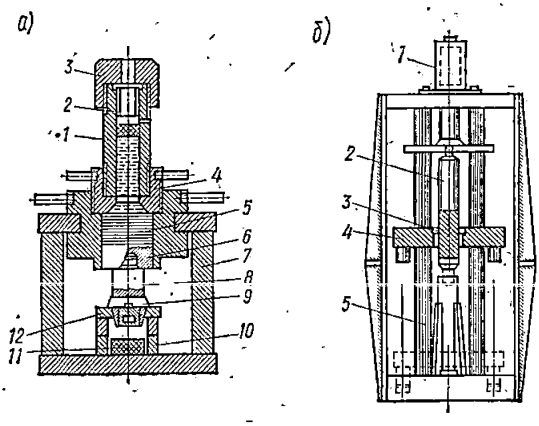


Рис. 160.

В корпусе трубы *1* помещена гильза *2* с резьбовой крышкой *3*. Труба через резьбовой переходник 4 соединяется с рабочим цилиндром *5*. В цилиндре помещен поршень *6*, уплотненный поршневыми кольцами. В дне поршня имеется резьбовое отверстие для соединения ползуна с резцедержателем *8*, в гнезде которого укреплен резец двустороннего действия *9*, лежащий своими передними поверхностями на кольцевой заготовке детали *12*, установленной на подкладках *10* внутри корпуса 7.

Для смягчения удара резцедержателя о стол установки в конце рабочего хода под резцедержатель положена резиновая шайба — буфер *11*.

Резьбовые соединения трубы *1* с переходником *4* и переходника с цилиндром *5* герметизированы свинцовыми прокладками. В трубе предусмотрено отверстие для отвода пороховых газов.

Взрыв заряда производят электрозапалом. В полость рабочего цилиндра заливают жидкость (воду, масло индустриальное-20, водомасляную эмульсию и др.), являющуюся средой, передающей энергию выстрела.

На рис. 160, *б* показана схема установки с применением энергии сжатого воздуха вместо энергии взрыва. Обрабатываемая заготовка *2* под действием воздушной подушки *1* проходит с большой скоростью между четырьмя режущими инструментами *3* в выстреливающем резцедержателе *4* по направляющим *5*.

Глава XXIII
ОБРАБОТКА НА РЕВОЛЬВЕРНЫХ И КАРУСЕЛЬНЫХ СТАНКАХ

§ 65. Обработка на револьверных станках

Токарно-револьверные станки отличаются от обычных токарных станков тем, что работа на них может производиться комплектом режущих инструментов, установленных в определенной последовательности в револьверной головке и на поперечном суппорте. Поэтому токарно-револьверные станки более производительны, чем обычные токарные станки, и, как правило, применяются в серийном производстве. На токарно-револьверных станках можно выполнить все виды токарных работ при обработке как штучных заготовок, так и из пруткового материала.

Применение токарно-револьверных станков экономично в тех случаях, когда требуется последовательно или одновременно обтачивать наружные и растачивать внутренние поверхности, сверлить, зенкеровать, нарезать резьбу и т. п., т. е. в случае, когда можно применять одновременно несколько инструментов, а также при обработке деталей партиями. Экономичность револьверных станков по сравнению с токарными достигается за счет сокращения вспомогательного времени. Однако следует учитывать, что режимы резания вследствие недостаточной жесткости системы СПИД при револьверных работах по сравнению с токарными значительно снижаются. Кроме того, существенное значение имеет сложность настройки станка, поэтому при револьверных работах широко используют групповые револьверные наладки, позволяющие осуществлять обработку технологически подобранных деталей.

Токарно-револьверный станок отличается от токарно-винторезного отсутствием задней бабки, на месте которой установлена револьверная головка с кареткой. Для обработки заготовок из пруткового материала шпиндель станка снабжен специальным механизмом подачи и закрепления прутка.

Револьверная головка имеет различные конструкции. Наиболее распространенными являются шестигранные револьверные головки с вертикальной осью вращения (рис. 161, *а*) и круглые револьверные головки с горизонтальной осью вращения (рис. 161, *б*).

В шестигранных револьверных головках с *вертикальной осью* вращения имеется шесть гнезд для установки инструмента. Станки с такой головкой обычно изготовляют с одним поперечным передним, а иногда с передним и задним суппортами. Последний используют для прорезки канавок, подрезки опорных поверхностей, отрезки заготовок, причем перемещать инструменты можно только в поперечном направлении. С помощью переднего суппорта выполняют те же виды обработки, что и на токарно-винторезных станках, кроме нарезания резьбы, которое выполняют, используя револьверную головку, наружную резьбу нарезают плашками, а внутреннюю — метчиками.

На токарно-револьверных станках также можно выполнять сверление, зенкерование и развертывание. Револьверные головки

у всех видов станков перемещаются вдоль оси шпинделя станка до упора.

Головка с *горизонтальной осью* вращения обычно имеет 12...16 отверстий для закрепления инструментов. Ее можно поворачивать периодически (для осуществления последовательной работы режущих инструментов), а также медленно и непрерывно (для подрезки, прорезки канавок и отрезки). Такие головки рационально применять в тех случаях, когда при обработке необходимо выполнять несколько переходов с поперечной подачей инструментов, помещенных в револьверной головке.

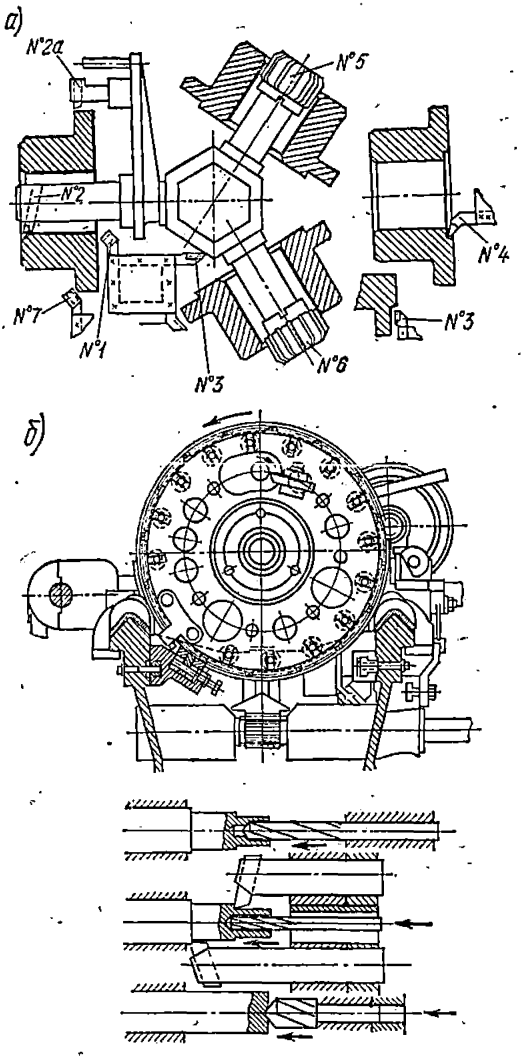


Рис. 161.

Наладка револьверного станка заключается в подборе и рациональной группировке инструментов в державке, установке их в головке и суппортах в определенной последовательности, регулировании инструментов в продольном и радиальном направлениях, а также регулировании упоров.

Эффективность использования револьверного станка может быть значительно повышена при совмещении переходов обработки. Так, за один переход можно расточить центральное ступенчатое отверстие и обточить несколько поверхностей; центрование или сверление можно совместить с обработкой резцом наружной поверхности и т. п.

На рис. 162 показано совмещение переходов обработки на станках с вертикальной (*а*, *б*, *в*) и горизонтальной (*г*, *д*, *е*) осями вращения револьверной головки с использованием комбинированного инструмента, многорезцовых державок и многоместных стоек или державок,

позволяющих закреплять в одном гнезде револьверной головки несколько инструментов.

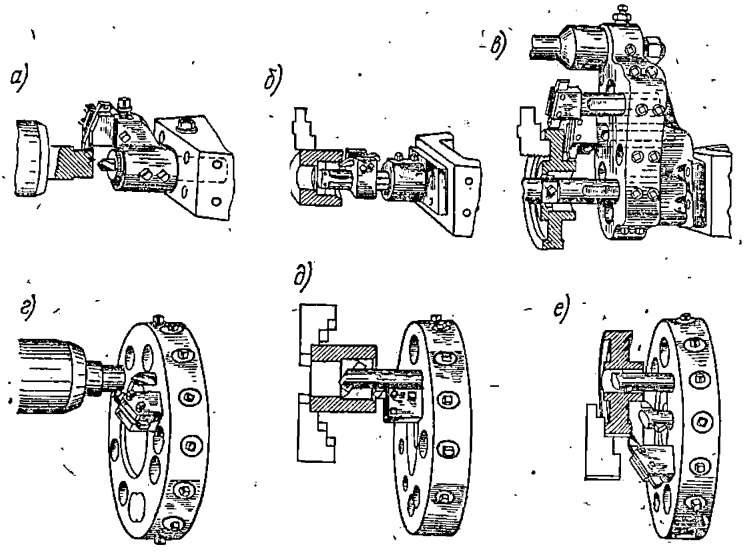


Рис. 162.

На рис. 163, *а* ... *д* показаны некоторые виды державок для установки различных инструментов в гнездах револьверных головок.

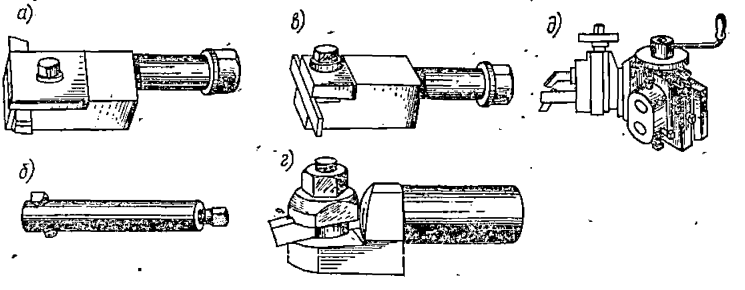


Рис. 163.

Токарно-револьверные станки в ряде случаев позволяют использовать специальные устройства для автоматизации цикла обработки, включая загрузку заготовок и удаление их со станка после обработки.

§ 66. Обработка на токарно-карусельных и токарно-лобовых станках

Токарно-карусельные станки предназначены для обработки больших заготовок, которые трудно установить и обработать на обычных токарных станках.

Заготовки, обрабатываемые на токарно-карусельных станках, имеют размеры от 300 до 7000 мм. Специальные (уникальные) токарно-карусельные станки позволяют обрабатывать заготовки диаметром до 20 м. Масса таких станков доходит до 1800 т. На токарно-карусельном станке выполняют почти все токарные работы, кроме нарезания резьбы, с 4...5 одновременно работающими инструментами.

Современные токарно-карусельные станки подразделяют на одностоечные и двухстоечные. Они имеют 18 и более скоростей вращения планшайбы. Так, у карусельных станков, имеющих 36 скоростей вращения планшайбы, частота вращения шпинделя находится в пределах 5,85...134 об/мин, что позволяет при обработке поверхностей диаметром 1000 мм применять скорость резания 420 м/мин.

На боковом суппорте станка обычной конструкции можно устанавливать один или два резца; суппорт перемещается горизонтально и вертикально. Вертикальный суппорт смонтирован на консольной

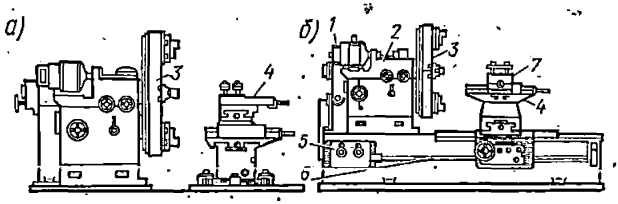


Рис. 164.

траверсе и перемещается по ней в вертикальном и горизонтальном направлениях. На суппорте имеется резцедержатель с пятью гнездами для инструмента. Резцедержатель можно легко и быстро повернуть и закрепить рукояткой. Закрепление инструмента в резцедержателе производят обычными крепежными средствами.

Все суппорты имеют механическую подачу и реверсируются; имеется ускоренная подача для быстрого перемещения в исходное положение.

Токарно-лобовые станки применяют в индивидуальном производстве и в ремонтных мастерских. Они предназначены для обработки крупных заготовок малой длины и большого диаметра, устанавливаемых преимущественно на планшайбе.

Современные лобовые токарные станки имеют большой диапазон диаметров планшайб — от 1000 до 4000 мм с пределами частоты вращения шпинделей для больших планшайб 17...20 об/мин.

Лобовые токарные станки изготовляют двух основных типов: с суппортами, установленными отдельно от бабки станка (рис. 164, *а*), и с суппортами, установленными на станине (рис. 164, *б*) токарных станков. На коробке скоростей *2* установлен электродвигатель *1*. Планшайба *3* укреплена на шпинделе и управляется обычными раздвижными несамоцентрирующимися кулачками. Резец устанавливают на суппорте *4* (станок может быть снабжен двумя суппортами — передним и задним) в обычном одноместном резцедержателе *7*. Если суппорт установлен на общей станине, подача его осуществляется от коробки подач *5* ходовым валом *6*.

Глава XXIV
ОБРАЗОВАНИЕ РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

§ 67. Виды резьб, их назначение и классификация

Резьбы подразделяют на цилиндрические и конические.

Основным видом цилиндрической резьбы в СССР является метрическая резьба с диаметрами от 1 до 600 мм, регламентированная ГОСТ 8724—58, с профилями и основными размерами по ГОСТ 9150—59. По величине шага эту резьбу делят на резьбу с крупным и мелким шагом. Таким образом, одному и тому же номинальному (наружному) диаметру резьбы соответствует несколько шагов разной величины.

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к точности резьбового соединения, поля допусков болтов и гаек установлены в трех классах точности: точном, среднем и грубом (ГОСТ 16093—70). Ограниченно применяют стандартную дюймовую резьбу по ОСТ НКТП 1260.

Кроме указанных резьб используют специальные цилиндрические резьбы: трубную, трапецеидальную, упорную, часовую, круглую. *Трубная резьба* представляет собой измельченную по шагу дюймовую резьбу с закругленными впадинами. *Трапецеидальную резьбу* применяют в резьбовых соединениях, передающих движение (ходовые и грузовые винты). В резьбовых соединениях, предназначенных для передачи движения, иногда используют прямоугольную резьбу с квадратным профилем. *Упорную резьбу* применяют в резьбовых соединениях, испытывающих большое одностороннее давление (в винтовых прессах, специальных нажимных винтах и др.). *Часовую резьбу* применяют в точном приборостроении для резьбовых соединений диаметром меньше 1 мм. *Круглую резьбу* используют в соединениях с повышенными динамическими нагрузками или в условиях, загрязняющих резьбу.

Конические резьбы применяют в трубных соединениях, если необходимо обеспечить плотность соединения без специальных уплотняющих материалов (пряжи с суриком, льняных нитей и др.). Наиболее распространенным видом является *трубная коническая резьба;* профиль которой соответствует закругленному профилю трубной цилиндрической резьбы.

В зависимости от назначения и характера работы резьбовые сопряжения разделяют на *неподвижные* и *кинематические.* К первым относят обычные резьбовые соединения (болт — гайка), соединения труб и т. п., а ко вторым — ходовые винты, микрометрические пары, грузовые винты и др.

§ 68. Нарезание наружной резьбы

Наружную резьбу нарезают плашками различных конструкций, резьбонарезными головками (с раздвигающимися плашками), резьбовыми резцами, гребенками, дисковыми и групповыми резьбовыми фрезами, одно- и многониточными шлифовальными кругами, а также накатыванием.

Круглыми плашками нарезают резьбы невысокой точности, так как у этих плашек профиль резьбовой нитки не шлифуют.

В некоторых случаях применяют плашки особо высокой точности изготовления, у которых режущие кромки, притирая, доводят до высокой точности. Такими плашками можно нарезать и калибровать точные резьбы. Однако этот способ нарезания резьбы неэкономичен и вследствие этого применяется редко.

Круглые плашки используют главным образом для нарезания резьб на заготовках из цветных металлов, а также для нарезания резьб малых диаметров (менее 3 мм). Их изготовляют *разрезными*, или регулируемыми по диаметру, и *неразрезными*. Неразрезные плашки более надежны и обеспечивают получение более правильной и чистой резьбы, чем разрезные.

При нарезании наружной резьбы (так же как и внутренней) на заготовках из вязких металлов происходит «поднятие нитки» (вспу-

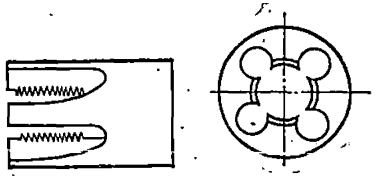


Рис. 165.

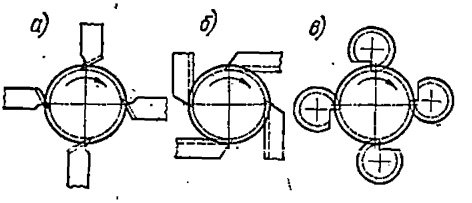


Рис. 166.

чивание металла), т. е. наружный диаметр резьбы получает некоторое приращение по сравнению с первоначальным диаметром стержня перед нарезанием резьбы. Поэтому диаметр стержня под нарезаемую резьбу делают на 0,1...0,2 мм меньше наружного диаметра резьбы.

При нарезании резьбы круглыми плашками на станках их вставляют в самовыключающиеся от упора патроны. Плашку закрепляют в патроне тремя упорными винтами. Патрон подают на нарезаемый стержень вручную до тех пор, пока нарезаемая резьба не захватит и не поведет плашку, после чего происходит самозатягивание.

Для нарезания резьбы на револьверных станках и автоматах применяют разновидность круглых плашек — *трубчатые плашки* (рис. 165), которые работают значительно лучше обычных круглых плашек вследствие свободного удаления стружки, удобства заточки режущих кромок, надежного центрирования плашки в патроне и возможности регулирования размера с помощью стягивающего кольца.

При ручном нарезании применяют круглые и раздвижные плашки, которые вставляют в клуппы.

Нарезание наружной резьбы на сверлильных, револьверных, болторезных станках и автоматах резьбонарезными (винторезными) головками является более совершенным, производительным и точным способом. В зависимости от расположения гребенок различают следующие типы резьбонарезных головок: с радиальным расположением гребенок для точных резьб (рис. 166, *а*); с тангенциальным расположением гребенок для менее точных резьб (рис. 166, *б*)

По конструкции гребенок резьбонарезные головки могут быть с круглыми (дисковыми) (рис. 166, *в*) и плоскими (призматическими) гребенками (рис. 166, *а*, *б*).

Для повышения производительности резьбонарезные головки изготовляют самооткрывающимися; у этих головок в конце процесса нарезания режущий инструмент выходит из зацепления с резьбой без вывинчивания головки и быстро возвращается в исходное положение.

На рис. 167 приведены наиболее распространенные типы самооткрывающихся резьбонарезных головок для нарезания наружной резьбы. На рис. 167, *а*, *б* показана головка с радиальным расположением гребенок, а на рис. 167, *в* — головка с плоскими гребенками, расположенными тангенциально (по касательной) к нарезаемой поверхности резьбы.

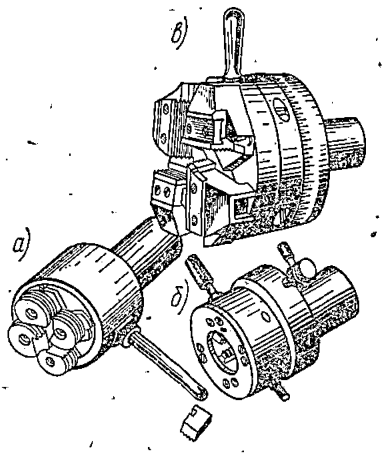


Рис. 167.

Винторезные самооткрывающиеся головки с круглыми (дисковыми) гребенками стандартизованы ГОСТ 3307—61.

Резьбовые резцы и гребенки применяют при нарезании особо точных наружных резьб, например для резьбовых калибров, особо ответственных резьб в отдельных деталях, а также при чистовом нарезании точных ходовых трапецеидальных и прямоугольных резьб.

Для нарезания наружных резьб применяют резьбовые резцы стержневые, призматические, а также круглые.

Профиль резьбового резца представляет собой профиль впадины между двумя соседними витками нарезаемой резьбы. Резцы нужно устанавливать на линии центров. При чистовом нарезании передний угол резцов принимают равным нулю, что обеспечивает точность профиля, а при черновом — от 5 до 20° для облегчения резания, причем для твердых сталей берут меньшие значения углов, а для вязких сталей — бо́льшие значения.

Нарезание резьбовыми резцами является малопроизводительной операцией, так как для полного нарезания ниток необходимо сделать большое число рабочих ходов. В особенности мала производительность нарезания резьбы резцами в упор, так как в этом случае независимо от нарезаемой резьбы число оборотов должно быть не более 50 в минуту.

Резьбонарезные гребенки представляют собой как бы несколько резьбовых резцов, соединенных вместе в ряд (от 2 до 8). Гребенки имеют режущую, или приемную, часть со срезанными зубьями (обычно 2...3 зуба) и направляющую часть — остальные зубья. Благодаря наличию нескольких зубьев гребенка не требует большого числа проходов, как резьбовой резец, и, следовательно, дает бо́льшую произво-

дительность. Гребенки изготовляют плоскими (призматическими) и круглыми. Плоские гребенки стандартизованы ГОСТ 2287—61.

Эффективным способом, повышающим производительность резьбонарезания, является нарезание резьб вращающимися резцами, так называемое *«вихревое» нарезание резьбы.* Этот способ заключается в следующем: обрабатываемая заготовка вращается с частотой вращения от 30 до 300 об/мин (в зависимости от обрабатываемого материала, диаметра и шага резьбы), а один из резцов, закрепленных в резцовой головке, вращающийся с частотой вращения от 1000 до 3000 об/мин, периодически (один раз за каждый оборот головки) приходит в соприкосновение с обрабатываемой поверхностью. Резцовая головка размещена на шпинделе, расположенном эксцентрично по отношению к оси обрабатываемой заготовки (рис. 168). В головках закрепляют один, два или четыре резца. Этим способом можно нарезать как наружные, так и внутренние резьбы диаметром более 50 мм, 2-го класса точности и шероховатости поверхности 6-го класса. При применении резцов, оснащенных пластинками Т15К6, скорость резания достигает 400 м/мин.

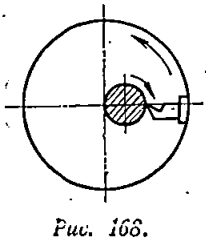


Рис. 168.

Шлифование резьбы абразивными кругами на резьбошлифовальных станках применяют для обработки метчиков, резьбовых фрез, резьбовых калибров, накатных роликов и т. п. В настоящее время в практике производства преимущественно применяют следующие основные способы шлифования резьбы*:

шлифование однониточным шлифовальным кругом, профилированным в соответствии с профилем одной впадины резьбы. Режим обработки характеризуется соотношением глубины резания и окружной скорости обрабатываемой детали. При большой глубине резания и малой окружной скорости можно шлифовать резьбу с небольшим шагом «из целого», т. е. без предварительного прорезывания. Этот метод позволяет получить резьбу очень высокой точности, например с погрешностью по половине угла профиля резьбы в пределах $\pm 3'$;

шлифование резьбы многониточным кругом с кольцевыми нитками; этот способ позволяет шлифовать короткие резьбы (длина которых меньше ширины круга) способом врезания: круг получает поперечную подачу на высоту витка при медленном вращении заготовки, после чего последняя совершает один полный оборот (перемещается вдоль своей оси на один шаг). Этого достаточно, чтобы прошлифовать всю резьбу по заготовке. Описанный способ отличается высокой производительностью и позволяет шлифовать резьбы с мелким шагом «из целого» (без предварительного прорезывания), но точность резьбы, достигаемая при этом, ниже, чем при работе однониточным кругом, — погрешность по половине угла профиля составляет $\pm 6'$. Резьбы большей длины шлифуют при продольной подаче круга.

---

* Мерперт М. П. Прецизионные резьбошлифовальные станки. М., Машгиз, 1962.

Кроме указанных применяют способ *бесцентрового шлифования* резьбы на бесцентрово-шлифовальном станке, оснащенном дополнительными специальными устройствами. Здесь также используют многониточный шлифовальный круг. Точность резьбы, полученная бесцентровым шлифованием, ниже, чем точность, достигаемая другими методами, но вполне достаточна для обычных деталей. Это обстоятельство и высокая производительность способа делают его применение целесообразным в массовом производстве резьбовых деталей, не требующих высокой точности.

§ 69. Нарезание внутренней резьбы

Внутреннюю резьбу нарезают в основном метчиками. Помимо метчиков используют также резцы, гребенки и резьбовые фрезы. В зависимости от способа нарезания резьбы метчики разделяют на машинные, применяющиеся при нарезании резьбы на станках, и ручные, или слесарные, применяющиеся при нарезании резьбы вручную с помощью клуппов.

При нарезании машинными метчиками резьба нарезается за один проход одним метчиком. На станках резьбу нарезают, как правило, за один рабочий ход и лишь в случаях нарезания длинных резьб или в глухих отверстиях применяют два метчика. Точные резьбы после нарезания на станке проходят калибровочным метчиком вручную или на станке. Ручными метчиками резьбу нарезают за два или три рабочих хода в зависимости от размера резьбы соответственно различными метчиками, входящими в комплект. Машинными метчиками резьбу нарезают как в сквозных, так и в глухих отверстиях на резьбонарезных, сверлильных, револьверных станках, токарных автоматах и полуавтоматах.

Глухие отверстия сверлят перед нарезанием на несколько бо́льшую глубину (примерно на 3...4 нитки), чем требуемая глубина нарезки. Это облегчает нарезание резьбы, обеспечивает полноценность резьбы на требуемой глубине и устраняет возможную поломку метчика.

Необходимым условием при нарезании метчиками резьбы на станке (кроме нарезания подающими метчиками) является быстрое переключение вращения с рабочего хода на обратный (реверсирование), когда метчик достигает положения, обеспечивающего нарезание резьбы на требуемой длине. Для нарезания резьбы в глухих отверстиях станки должны быть снабжены ограничителями рабочего хода с переключением на обратный при достижении метчиком конечного положения. Остановка подачи и вращения метчика может быть осуществлена также с помощью самовыключающихся патронов.

Переключение вращения шпинделя необходимо также и при использовании самовыключающихся патронов, за исключением специальных станков для нарезания гаек.

Для нарезания резьбы метчиками применяют различные типы патронов: жесткие, плавающие, самовыключающиеся от упора, самовыключающиеся при перегрузке крутящим моментом.

Жесткие патроны представляют собой простую державку для метчика. Эти патроны используют только на револьверных станках и автоматах, где обеспечивается соосность отверстия и метчика.

Плавающие патроны не только обеспечивают самоустановку метчика по оси нарезаемого отверстия, но и позволяют выполнять быструю смену метчика на ходу шпинделя. Вместо плавающих патронов, особенно для метчиков небольших диаметров, применяют также посадку метчика в жестком патроне с некоторым зазором, позволяющим ему самоустанавливаться. Метчик с патроном чаще всего соединяют с помощью квадратного хвостовика метчика.

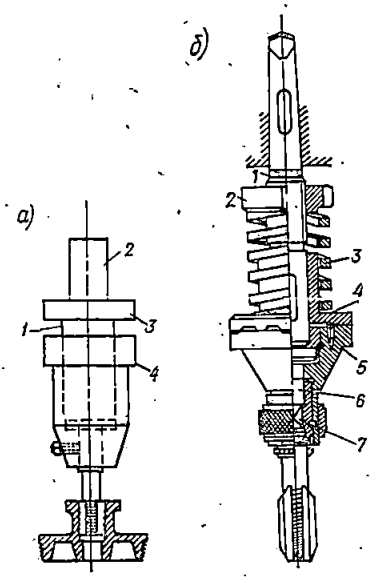


Рис. 169.

Самовыключающиеся от упора патроны применяют для нарезания резьбы метчиком (и круглыми плашками) на револьверных станках и автоматах, а также на многошпиндельных резьбонарезных станках. После прекращения продольной подачи шпинделя станка от действия упора дальнейшее ввинчивание метчика в нарезаемое отверстие заставляет выдвигаться подвижную часть патрона (рис. 169, *а*) до тех пор, пока полумуфта *3*, жестко связанная с оправкой *2*, не выйдет из зацепления с полумуфтой *1* выдвигаемой части патрона *4*.

Самовыключающийся при перегрузке патрон показан на рис. 169, *б*. На валике *1*, конический хвостовик которого служит для закрепления патрона в шпинделе станка, посажена на шпонке полумуфта *4*, имеющая торцевые кулачки, входящие в зацепление с такими же кулачками второй полумуфты *5*, свободно установленной на валике. Полумуфта *4* перемещается в продольном направлении пружиной *3*, осевая сила которой регулируется гайкой *2*. Вращение метчику передается от полумуфты *5* через сменную втулку *7*.

Если крутящий момент превышает заранее установленную величину, втулка *6* начинает проскальзывать. В момент прекращения вращения метчика реверсируется вращение шпинделя.

Для нарезания гаек применяют гайконарезные станки, работающие длинными гаечными метчиками или метчиками, имеющими длинный изогнутый хвостовик.

Резьбу нарезают, применяя смазывающе-охлаждающие жидкости: в стали — осерненное масло (сульфофрезол); в чугуне — керосин, либо всухую.

При нарезании однозаходных и многозаходных нестандартных резьб для чистового нарезания используют резьбовые резцы. Основным

недостатком фасонных резцов является низкая производительность, так как они не могут производительно работать при значительной толщине стружки и высоких скоростях резания. При обработке этим способом требуется несколько рабочих ходов: например, для резьбы средних размеров — от 12 до 20 рабочих ходов, а для резьб с крупным шагом, трапецеидальных и прямоугольных — до 50 рабочих ходов и больше.

Гребенки для нарезания внутренних резьб почти не применяют, так как метчик представляет собой как бы комплект нескольких резьбонарезных гребенок, соединенных вместе, и в то же время он значительно проще в изготовлении, чем гребенка.

§ 70. Фрезерование наружной и внутренней резьб

Фрезерование наружной и внутренней резьб производят дисковыми и гребенчатыми, или групповыми, фрезами. При нарезании дисковыми резьбовыми фрезами инструмент устанавливают под углом, равным углу подъема нитки нарезаемой резьбы. Резьбы с крупным шагом нарезают коническими профильными фрезами или цилиндрическими концевыми фрезами с поочередной обработкой одной, а затем другой стороны нитки.

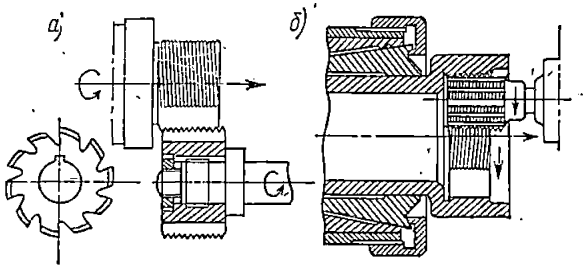


Рис. 170.

Трапецеидальные и прямоугольные резьбы с крупным шагом фрезеруют дисковыми фрезами предварительно, а чистовые переходы делают резьбовым резцом несколькими рабочими ходами.

Короткие наружные и внутренние резьбы с треугольным профилем фрезеруют гребенчатыми, или групповыми, фрезами. Гребенчатая резьбовая фреза представляет собой как бы несколько дисковых резьбовых фрез, соединенных торцами вместе. Такие фрезы называют групповыми. Продольные канавки, а следовательно, и режущие кромки у таких фрез расположены параллельно их оси. Зубья фрезы делают затылованными для облегчения их заточки. Длину групповой фрезы обычно берут на 2...3 нитки больше длины нарезаемой резьбы.

Резьбу групповой фрезой нарезают на 1,25 оборота нарезаемой заготовки. Это делается для того, чтобы перекрыть место врезания фрезы. При нарезании резьбы заготовка при каждом обороте должна продвинуться в осевом направлении на один шаг нарезаемой резьбы.

Схемы работы такими фрезами показаны на рис. 170 (*а* — наружная, *б* — внутренняя резьба).

Профиль зубьев фрезы должен быть одинаковым с профилем нарезаемой резьбы. Ось гребенчатой фрезы устанавливают параллельно оси нарезаемой заготовки.

Применение резьбовых гребенчатых фрез особенно целесообразно при нарезании резьбы, расположенной у галтелей, буртиков и т. п., а также резьбы, доходящей до дна глухих отверстий, так как в таких случаях только с помощью фрезерования можно обеспечить полную резьбовую нитку вплоть до буртика или до одна отверстия. Фрезерование гребенчатыми фрезами широко применяют при нарезании резьбы на деталях из вязких и твердых сталей, когда нарезание резьбы плашками или резьбонарезными головками не может обеспечить требуемую шероховатость поверхности на резьбе или же вызовет быстрое затупление инструмента.

§ 71. Накатывание резьбы

Принцип образования наружной и внутренней резьб накатыванием заключается в том, что заготовка прокатывается между двумя параллельно расположенными на определенном расстоянии друг от друга призматическими (плоскими) резьбовыми плашками или между цилиндрическими вращающимися роликами.

Основные параметры резьбонакатных автоматов с плоскими плашками стандартизованы по ГОСТ 6283—67 и предназначены для накатывания резьб диаметрами 2..25 мм. Наиболее распространенными моделями резьбонакатных станков являются МФ-103, МФ-128, 5А935, 5А936 с наибольшим диаметром накатываемой резьбы 8 мм и ГДЗ — до 125 мм.

Инструмент — накатные плашки — стандартизован ГОСТ 2248—60. Этим стандартом регламентированы основные размеры накатных плашек и технические требования к их изготовлению. Плашки изготовляют из сталей Х12М и Х6ВФ. Твердость рабочей части плашек HRC 57...60. Шероховатость поверхностей профиля резьбы на плашках не должна быть ниже 7-го класса. В каждом комплекте (паре) плашек резьба одной плашки относительно другой должна быть смещена на 0,5 шага.

На рис. 171, *а* показано накатывание резьбы плоскими плашками. Плашка *1* неподвижна, а плашка *2* движется поступательно-возвратно. На обращенных друг к другу сторонах плашек нанесена развертка винтовой поверхности накатываемой резьбы на плоскость.

В начале процесса заготовка автоматически подается толкателем (на рисунке не показан) между плашками *1* и *2*, имеющими скошенную заборную часть, и пружинным упором *3*. Затем толкатель отходит и плашка *2* начинает двигаться по стрелке, увлекая заготовку. Достигнув левого конца плашки, накатанная заготовка падает в приемник.

Этот способ помимо высокой производительности дает несколько более прочную и износостойкую резьбу, чем при обработке режущим резьбовым инструментом, так как материал на нитке резьбы в процессе на-

катки упрочняется (наклепывается) и, кроме того, волокна металла не перерезаются, а пластически деформируются. Образование резьбы накатыванием происходит без снятия стружки, благодаря чему создается большая экономия металла, достигающая 25% и более.

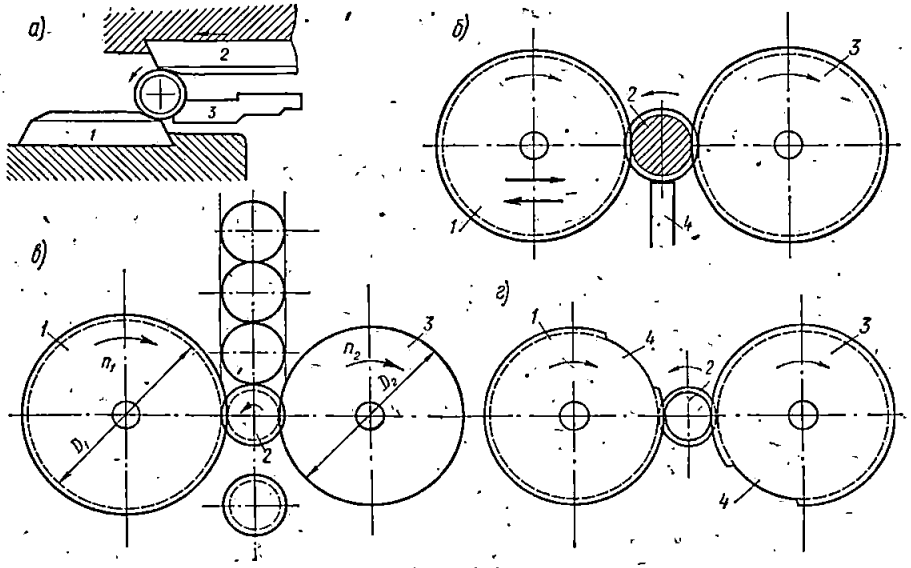


Рис. 171.

Диаметр заготовки под накатывание резьбы $d_{заг}$ может быть определен по следующим формулам:

для стандартной метрической резьбы

$$d_{заг} = \sqrt{(d^2 + d_1^2)/2};$$

для той же резьбы с последующим металлопокрытием

$$d_{заг} = \sqrt{\frac{d^2 + d_1^2}{2}} - 2\,\frac{t}{\sin \alpha/2};$$

для несимметричных резьб

$$d_{заг} = d_1 + 1{,}15\,(t_1^3/S) + 0{,}77t^2/(Sd_1),$$

где d — наружный диаметр резьбы, мм; d_1 — внутренний диаметр резьбы, мм; $\alpha/2$ — половина угла профиля резьбы, град; t — толщина слоя покрытия, мкм ($\approx$ 25 мкм для хромирования, $\approx$ 13 мкм для цинкования); t_1 — высота профиля резьбы, мм; S — шаг резьбы, мм.

При применении цилиндрических вращающихся роликов резьбу можно накатывать тремя видами подач: тангенциальной, радиальной, осевой.

На рис. 171, *б* показано накатывание резьбы двумя накатными цилиндрическими роликами с радиальной подачей. Накатывание можно

выполнять одним и тремя роликами. Этот способ накатывания получил наибольшее распространение. Оба ролика *1* и *3* вращаются непрерывно; при вращении один из них (на рис. 171, *б* ролик *1*) получает радиальную подачу (от механического привода или гидропривода); при достижении требуемой глубины резьбы наступает выдержка с неизменным межцентровым расстоянием; затем ролики отходят друг от друга. В процессе накатывания цилиндрическую заготовку *2* поддерживает нож *4*, установленный между роликами. Профиль нарезки на периферии роликов является зеркальным отображением резьбы изделия.

Непрерывное накатывание резьбы роликами может производиться с тангенциальной подачей (рис. 171, *в*) двумя роликами *1* и *3* разных диаметров ($D_1 > D_2$) с равной частотой вращения ($n_1 = n_2$), причем расстояние между центрами роликов остается постоянным. При этом способе нет надобности в ноже, поддерживающем заготовку *2*.

На рис. 171, *г* показана схема накатывания резьбы с тангенциальной подачей двумя затылованными роликами *1* и *3*. У каждого такого ролика имеется: загрузочно-разгрузочная часть *4* (срез), образованная путем срезания резьбы по радиусу ниже внутреннего диаметра резьбы; затылованная заборная часть; калибрующая часть; затылованная освобождающая часть. Ролики *1* и *3* устанавливают на станке с постоянным расстоянием между их центрами, рассчитанным на получение резьбы заданного диаметра. Вращение роликов синхронно. Заготовка *2* подается автоматически в момент, когда срезы *4* роликов будут находиться друг против друга. Накатывание резьбы происходит за один оборот роликов.

Такие ролики иногда бывают многоцикличными: на одном ролике делают несколько загрузочно-разгрузочных участков (срезов) *4* и соответствующее количество остальных указанных выше участков (второй ролик в этом случае берут цилиндрический, обычного профиля). В рабочее положение заготовку устанавливают специальным сепаратором последовательно, по мере подхода срезов *4* ко второму (обычному) ролику. За один оборот ролика может быть накатано в среднем 1...7 заготовок. Шероховатость поверхности резьбы при накатывании затылованными роликами несколько повышается.

Основные размеры обычных резьбонакатных роликов для накатывания метрических резьб диаметром 3...45 мм стандартизованы ГОСТ 9539—72. По этому стандарту ролики должны выпускаться с обычной и повышенной точностью; согласно предусмотренному в ГОСТ 9539—72 испытанию, ролики обычной точности должны дать на изделии резьбу не ниже 2-го класса точности, а ролики повышенной точности — не ниже 1-го класса точности. Шероховатость профиля резьбы роликов повышенной точности должна быть не ниже 8-го класса, роликов обычной точности — не ниже 7-го класса.

Накатыванием можно получить резьбу диаметром от 0,3 до 150 мм на деталях из сталей твердостью НВ 120...340, а также из цветных металлов и сплавов с точностью до 1-го класса и с классом шероховатости поверхности до 8...9-го. Скорость накатывания резьбы на деталях из сталей $\sigma_в = 40...80$ кгс/мм^2 в пределах 40...80 м/мин.

Глава XXV
ОБРАБОТКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

§ 72. Технологические предпосылки выбора метода обработки плоских поверхностей

Плоские поверхности обрабатывают строганием, долблением, фрезерованием, шлифованием и протягиванием (без учета отделочных операций).

Строгание и долбление наиболее применимы в серийном, особенно в мелкосерийном и индивидуальном производствах, так как для работы на строгальных и долбежных станках не требуется сложных приспособлений и инструментов. Однако эти виды обработки малопроизводительны. Низкая производительность объясняется тем, что обработку ведут одним или небольшим числом резцов с потерями времени на обратные холостые ходы.

Скорости резания при этих видах обработки небольшие, так как осуществление возвратно-поступательного движения с большими скоростями представляет конструктивные трудности вследствие развивающихся больших сил инерции при движении деталей и сборочных единиц станка. Так, например, при строгании заготовок из чугуна для чернового прохода рекомендуется скорость резания 15...20 м/мин, для чистового — 4...12 м/мин с глубиной резания соответственно 0,5...0,8 и 0,08 мм. Шероховатость поверхности при тонком строгании достигается 7-го класса.

При строгании и долблении резцы устанавливают «на размер» обычно по разметке или по шаблонам и реже с помощью «пробных стружек».

Обрабатываемые заготовки устанавливают непосредственно на столе станка, выверяют с помощью клиньев и подкладок и закрепляют прихватами и другими нормализованными зажимами.

Вспомогательное время при работе на строгальных и долбежных станках относительно велико, что еще больше снижает производительность этих станков. В некоторых случаях при одновременной обработке нескольких заготовок применяют простейшие установочно-зажимные приспособления. Наиболее выгодно на продольно-строгальных станках обрабатывать длинные и узкие плоскости, например кромки стальных листов и плит, направляющие станин металлообрабатывающих станков и т. п.

Повысить производительность на строгальных станках можно, применив одновременно несколько резцов на одной державке, что сократит число рабочих ходов и позволит снять значительно больший припуск за один рабочий ход при одновременной работе несколько суппортов, и следовательно, совмещение во время обработки нескольких поверхностей; при применении широких резцов и больших подач при чистовом строгании, специальных установочно-зажимных приспособлений и шаблонов для установки резцов при профильном строгании, например при строгании V-образных направляющих станин станков и т. п.

Производительность можно повысить также последовательной или параллельно-последовательной обработкой одновременно одного или нескольких рядов обрабатываемых заготовок. Однако последний способ повышает производительность только в том случае, если установка и совместная выверка ряда заготовок на одном станке не требуют значительных затрат вспомогательного времени.

При установке и зажатии обрабатываемой заготовки на строгальном станке необходимо следить за тем, чтобы заготовка не была деформирована силами, развиваемыми зажимами, что особенно важно при чистовом строгании заготовок крупных размеров. Поэтому после чернового строгания таких заготовок рекомендуется отпустить все зажимы и вновь зажать заготовку так, чтобы она не имела деформаций.

Точность работы на продольно-строгальных станках обусловливается главным образом квалификацией и опытом рабочего, а также качеством и состоянием станка.

На ряде станкостроительных заводов при чистовом строгании станин станков достигнута такая точность, что отпадает необходимость в шабрении, так как точность строгания направляющих станин в этих случаях характеризуется отклонениями по прямолинейности, не превышающими 0,02 мм на 1 м длины и 0,05 мм на всю длину станины. В обычных же практических условиях точность работы на строгальных станках не выходит за пределы 0,1...0,2 мм на 1 м длины.

При чистовой обработке вследствие тихоходности строгальных станков следует применять широкие резцы с шириной режущей кромки от 15 до 40 мм и большие подачи (от 10 до 25 мм/дв. ход) в зависимости от требуемых точности и шероховатости обрабатываемой поверхности.

Долблением обрабатывают поверхности внутренних контуров, когда невозможно или затруднительно выполнять эту операцию на другом станке.

Процессы строгания и долбления аналогичны, однако в первом случае (при работе на продольно-строгальных станках) движение резания придается заготовке, а движение подачи — резцу; во втором — движение резания придается резцу, а движение подачи — заготовке, причем движение подачи осуществляется в плоскости, перпендикулярной направлению движения резца. Подача может производиться параллельно или перпендикулярно режущей кромке резца или по кругу.

Фрезерование в массовом производстве совершенно вытеснило применявшееся ранее строгание и частично долбление. При обработке фрезерованием можно обеспечить значительно бо́льшую производительность, чем при строгании, так как посредством многолезвийного инструмента можно обрабатывать в единицу времени значительно бо́льшую поверхность, чем при обработке однолезвийным инструментом — резцом.

Повышение производительности при фрезеровании достигается также увеличением количества одновременно обрабатываемых заготовок, количество одновременно работающих режущих инструментов, сокращением продолжительности рабочих и холостых ходов обрабатываемой заготовки и инструмента.

Основными способами фрезерования, обеспечивающими повышение производительности обработки, являются:

параллельное, т. е. одновременное, фрезерование нескольких заготовок или нескольких поверхностей одной заготовки. Это может быть осуществлено установкой на одной оправке соответствующего числа цилиндрических, дисковых и фасонных фрез или торцевых фрез на различных шпинделях, а также с помощью одной торцевой фрезы большего диаметра или одной цилиндрической фрезы достаточной длины. При таком фрезеровании резко сокращается трудоемкость обработки вследствие совмещения машинного времени отдельных переходов и уменьшения вспомогательного времени;

последовательное фрезерование нескольких заготовок, установленных в ряд на столе станка (или нескольких поверхностей одной заготовки), по мере их подвода к фрезе в процессе рабочего движения стола станка. В этом случае резко сокращается вспомогательное время, так как оно перекрывается машинным временем;

параллельно-последовательное фрезерование, при котором одновременную обработку нескольких заготовок (или нескольких поверхностей одной заготовки), установленных в один или несколько рядов на столе станка, комбинируют с последовательной обработкой. Применение этого способа наряду со снижением трудоемкости благодаря сокращению вспомогательного времени позволяет резко снизить машинное время;

фрезерование *на поворотных столах и приспособлениях*. В этом случае трудоемкость обработки уменьшается вследствие совмещения большой части вспомогательного времени с машинным, так как снимают обработанную заготовку и устанавливают новую во время фрезерования детали на другой позиции стола или в приспособлении;

фрезерование с *подачей в обе стороны* (маятниковая подача). Этот способ обработки является разновидностью предыдущего. Его применяют для небольших поверхностей длинных заготовок, для которых применение поворотных устройств затруднено;

непрерывное фрезерование заключается в том, что обрабатываемые заготовки устанавливают на круглом непрерывно вращающемся столе или в барабанном устройстве и фрезеруют торцевыми фрезами, установленными на шпинделях станка. При таком фрезеровании штучное время может быть очень близким или равным машинному времени.

Обработка плоскостей торцевыми фрезами в серийном и массовом производстве все больше вытесняет фрезерование цилиндрическими фрезами, так как этот способ более производителен, а также позволяет осуществлять обработку заготовок значительной ширины при жестком креплении инструмента. Кроме того, класс шероховатости поверхности также повышается до 7...8-го.

Точность фрезерования зависит от типа станка, режущего инструмента, режима резания и других факторов. В обычных условиях точность обработки при фрезеровании достигает 3...4-го классов, а при скоростном и тонком фрезеровании — 2-го класса.

Плоское шлифование применяют в качестве чистовой операции после строгания или фрезерования плоскостей для достиже-

ния высоких точности и класса шероховатости обрабатываемой поверхности, а также для окончательной обработки плоскостей заготовок из закаленной стали. В ряде случаев плоское шлифование может быть более рациональным, чем фрезерование, особенно при обработке твердых материалов, наличии твердой корки или небольших припусков на обработку.

Протягивание наружных контуров является более производительным методом, чем строгание и фрезерование при одновременном обеспечении высоких точности и класса шероховатости обрабатываемой поверхности.

Точность и шероховатость обрабатываемой поверхности при протягивании обусловливаются в основном весьма малым влиянием упругих деформаций на процесс резания, малой толщиной стружки и низкими скоростями резания. При выборе этого вида обработки необходимо учитывать, что себестоимость протяжных работ в значительной степени зависит от величины затрат на изготовление и заточку протяжек, а также на приобретение протяжного оборудования.

Для отделочных операций применяют обработку с использованием абразивов — доводку, притирку и полирование. Кроме того, для окончательной отделки поверхностей применяют шабрение. Обработка плоских поверхностей с применением абразивов производится аналогично отделке наружных поверхностей вращения.

Притирка требует очень точной предварительной обработки поверхности, так как большой припуск на притирку приводит к увеличению времени обработки и быстрому изнашиванию притира. Припуск для притирки плоских поверхностей назначают в пределах 8... 18 мкм.

Шабрение можно выполнять с помощью шабера вручную или механическим способом. Первый способ требует большой затраты времени при высокой квалификации исполнителя, но обеспечивает высокую точность. Второй способ осуществляется с помощью специальных станков, на которых шабер получает возвратно-поступательное движение. При этом способе требуется меньше времени, однако его нельзя применить для отделки сложных поверхностей, что ограничивает область применения.

§ 73. Обработка на строгальных и долбежных станках

Обработку строганием производят резцами, сходными по форме с токарными, на строгальном станке. Однако в отличие от токарной обработки строгание выполняют прерывисто со снятием стружки при поступательно-прямолинейном движении заготовки или резца.

Универсальные строгальные станки подразделяют на продольно- и поперечно-строгальные. В первом случае главное рабочее движение сообщается заготовке, во втором — резцу. Имеются специализированные строгальные станки — кромкострогальные, копировально-строгальные и др. Продольно-строгальные станки подразделяют на одностоечные, двухстоечные и портальные.

Длина столов продольно-строгальных станков зависит от их назначения и достигает 12...15 м. Стол может двигаться с помощью реечных передач или гидравлических устройств. В последнем случае можно достигнуть более высокой скорости хода стола и более плавного реверсирования, чем при механических приводах.

У поперечно- и продольно-строгальных станков резцедержатель вместе с резцом может поворачиваться в вертикальной плоскости при обратном ходе. Для установки резца по высоте суппорта с резцедержателем можно перемещать в вертикальном направлении. Для обработки наклонных поверхностей суппорт может быть повернут на требуемый угол.

Движение ползуна осуществляется от гидросистемы или с помощью кулисного механизма. Скорость поступательного движения ползуна

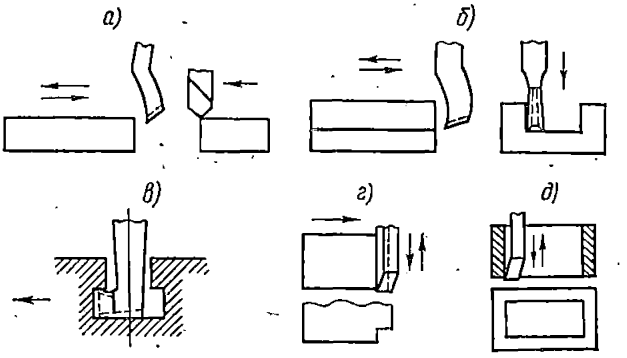


Рис. 172.

является величиной переменной по длине хода, причем скорость обратного хода для повышения производительности в 1,5...2 раза больше скорости рабочего хода.

На строгальных станках чаще всего обрабатывают плоскости. На крупных продольно-строгальных станках, снабженных несколькими суппортами, можно строгать плоскости заготовки одновременно с нескольких сторон при одной установке ее на столе станка.

На долбежных станках резец при долблении совершает только возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении, а движение подачи осуществляется заготовкой, которая может перемещаться как в продольном, так и в поперечном направлении, а также совершать вращательные движения вокруг вертикальной оси.

Долбежные станки чаще всего применяют для долбления шпоночных пазов, канавок, профильных отверстий и других работ. Наиболее характерные виды работы, выполняемые на строгальных и долбежных станках, показаны на рис. 172: *а*) строгание плоскости; *б*) строгание паза; *в*) строгание Т-образного паза; *г*) долбление углового профиля; *д*) долбление прямоугольного отверстия.

§ 74. Обработка на фрезерных станках

На фрезерных станках можно обрабатывать плоскости, фасонные и винтовые поверхности, нарезать зубчатые колеса и выполнять другие работы.

В зависимости от назначения фрезерные станки подразделяют на одношпиндельные — горизонтальные и вертикальные и одношпиндельные универсально-фрезерные горизонтальные. Имеются, кроме того, специализированные и специальные фрезерные станки. К специализированным фрезерным станкам относятся продольно-фрезерные с расположением шпинделей в различных плоскостях; торцово-фрезерные для обработки плоскостей, карусельно-фрезерные с вращающимися столами; барабанно-фрезерные с вращающимся барабаном и копировально-фрезерные для обработки фасонных поверхностей. К специальным станкам относятся резьбофрезерные, шпоночно-фрезерные, агрегатно-фрезерные и реечные.

В одношпиндельном горизонтально-фрезерном станке шпиндель расположен горизонтально; в вертикально-фрезерном станке — вертикально; в остальном устройство станка принципиально не отличается от горизонтально-фрезерного. Вертикально-фрезерные станки снабжают как прямоугольными, так и круглыми столами.

Универсально-фрезерные станки отличаются от описанных тем, что они имеют поворотный стол, который позволяет выполнять операции по фрезерованию винтовых канавок (например, у спиральных сверл) и зубчатых колес с винтовыми зубьями.

Продольно-фрезерный станок является характерным для группы специализированных фрезерных станков. Такие станки изготовляют с одним или несколькими вертикальными и горизонтальными шпинделями; в последнем случае заготовку можно обрабатывать одновременно с нескольких сторон.

На рис. 173, *а* показан общий вид четырехшпиндельного продольно-фрезерного станка. По направляющим станины *1* может перемещаться стол *2*, на котором закрепляют заготовки. Обработку выполняют фрезами, установленными в шпинделях, находящихся в шпиндельных бабках *3*, *5*, *6* и *7*. Так как стол не может подниматься или перемещаться в поперечном направлении, то, чтобы получить требуемые размеры при обработке, инструмент устанавливают выдвижением шпинделей вдоль их оси и перемещением шпиндельных бабок *5* и *6* по направляющим поперечины *4* перпендикулярно осям шпинделей этих бабок.

Барабанно-фрезерные станки относятся к группе непрерывно действующих станков. Они имеют преимущественное распространение в крупносерийном и массовом производстве. На таких станках может производиться одновременная обработка двух плоскостей заготовок. На рис. 173, *б* приведена схема общего вида станка. На станине, имеющей форму прямоугольной рамы, смонтированы основные узлы станка. На валу *5*, проходящем через раму станины, смонтирован барабан *3*, имеющий форму правильного четырехугольника (а иногда пяти- и шестиугольника), на гранях которого установлены приспособления *6*

для закрепления детали. Вал вместе с барабаном *3* вращается от отдельного привода *4*. Скорость вращения барабана может регулироваться коробкой подач, помещенной в корпусе станины.

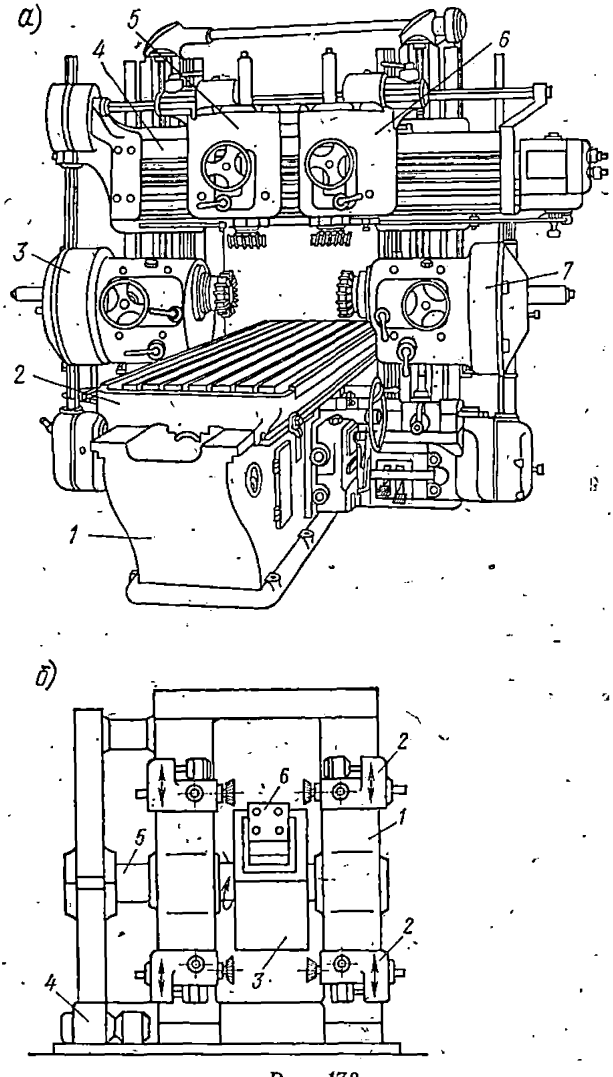


Рис. 173.

На двух стойках *1* размещены фрезерные головки *2*, которые представляют собой самостоятельные узлы с индивидуальными приводами. Фрезерные головки могут перемещаться на стойках и закрепляться в любом положении согласно настройке станка. Для регулирования глубины фрезерования шпинделя кроме вращательного движения имеют поступательное движение по направлению оси вращения. Про-

изводительность станка зависит от количества одновременно обрабатываемых заготовок и скорости вращения барабана.

На фрезерных станках плоские поверхности можно обрабатывать цилиндрическими фрезами при движении стола станка с закрепленной заготовкой навстречу направлению вращения фрезы, т. е. методом *встречного фрезерования* (рис. 174, *а*) или в том же направлении методом *попутного фрезерования* (рис. 174, *б*). В обоих случаях стружка, снимаемая каждым зубом фрезы, имеет форму запятой, но в первом случае толщина стружки постепенно увеличивается в процессе резания, а во втором уменьшается.

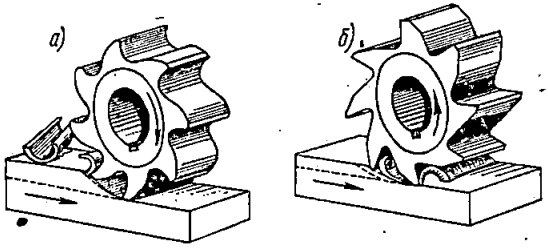


Рис. 174.

Преимущество встречного фрезерования заключается в плавном увеличении нагрузки на зуб и во врезании зубьев в металл под коркой. Недостатком этого метода является стремление фрезы сорвать заготовку от поверхности стола.

Точность фрезерования зависит от типа станка, инструмента, режимов резания и других факторов. При фрезеровании может быть достигнута точность 3...4-го классов, а при скоростном и тонком фрезерова-

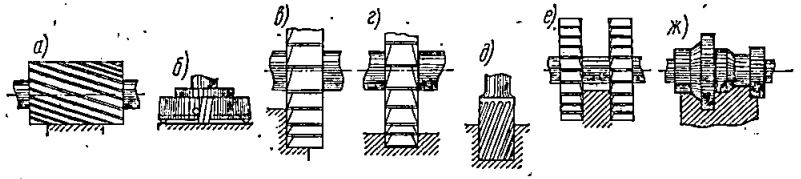


Рис. 175.

нии — до 2-го класса. Шероховатость поверхности при чистовом фрезеровании может быть 4...6-го классов.

На рис. 175 приведены различные виды обработки на фрезерных станках: *а*) обработка плоскости цилиндрической фрезой; *б*) обработка плоскости торцевой фрезой; *в*, *г*) обработка вертикальной плоскости и паза дисковой трехсторонней фрезой; *д*) обработка паза концевой фрезой; *е*) обработка боковых плоскостей двумя торцевыми фрезами; *ж*) обработка сложного профиля набором фрез.

§ 75. Приспособления для фрезерных работ

Фрезерные станки снабжают приспособлениями, которые подразделяют на универсальные, нормализованные и специальные. К универсальным приспособлениям относятся: делительные головки, вращающиеся, угловые и поворотные столы и машинные тиски.

Делительные головки бывают для простого деления, непосредственного деления, универсальные и оптические. Универсальные делительные головки применяют для периодического поворота заготовки на определенный заданный угол (методом непосредственного, простого или дифференциального деления); непрерывного вращения заготовки при фрезеровании винтовых поверхностей (канавок фрез, разверток, сверл и т. п.); установки заготовки в заданное угловое положение относительно плоскости стола станка.

На рис. 176 показана универсальная делительная головка, которая работает следующим образом: делительный диск непосредственного деления *2* установлен на шпинделе головки *3* и фиксируется защелкой *1*. Сменный делительный диск *5* установлен на оси рукоятки *6*, на которой расположены также раздвижные втулки *4*, фиксирующие угол развилки при делении. Заготовку устанавливают на оправку, которую закрепляют между центрами делительной головки и задней бабки фрезерного станка. На шпинделе может быть установлен патрон, предназначенный для закрепления заготовки, не имеющей центровых отверстий.

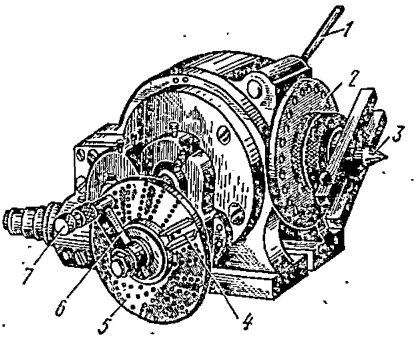


Рис. 176.

Делительную головку снабжают тремя дисками, в каждом из которых имеется по шести расположенных по окружности рядов отверстий с различным количеством последних в каждом ряду: в рядах первого диска — 15, 16, 17, 18, 19 и 20; второго — 21, 22, 27, 29, 31 и 33; третьего — 37, 39, 41, 43, 47 и 49. Отверстия в каждом ряду расположены на равном расстоянии одно от другого.

Для поворота заготовки на требуемый угол выводят штифт *7* из делительного диска; затем рукояткой поворачивают шпиндель на требуемый угол и после этого вводят штифт в соответствующее отверстие диска.

В универсальных делительных головках червячное колесо обычно имеет 40 зубьев, а червяк является однозаходным; следовательно, передаточное отношение i червячной пары будет составлять $^1/_{40}$.

Если оси заготовки нужно придать наклонное положение относительно плоскости стола, поворотную часть универсальной головки устанавливают под требуемым углом и закрепляют болтами. При использовании универсальных делительных головок точность деления достигает $\pm 1'$.

Оптические делительные головки применяют для особо точных работ в тех случаях, когда требуется строго определенный поворот обрабатываемой заготовки на нужный угол с отклонением не более 0,25′. Такие головки снабжены лимбом, по которому производят отсчет показаний, наблюдая шкалу лимба в окуляр оптической системы, встроенной в делительную головку.

Вращающиеся универсальные столы являются принадлежностью универсально-фрезерных станков, но их используют и на вертикально-фрезерных станках в тех случаях, когда требуется придать заготовке, закрепленной на столе, вращательное движение в горизонтальной плоскости. Круглый стол можно вращать вручную или механически.

Угловые столы служат для того, чтобы устанавливать плоскость заготовки, подлежащей обработке, под заданным углом в плоскости стола станка.

Поворотные столы применяют для многопозиционной обработки. В таких случаях на столе закрепляют два одинаковых приспособления и во время обработки заготовки, закрепленной в одном из них, устанавливают новую заготовку в другое приспособление. По окончании фрезерования одной заготовки стол поворачивают вокруг вертикальной оси, подводя вновь установленную заготовку в зону обработки. Таким образом, вспомогательное время на установку и закрепление заготовок, а также на открепление и снятие обработанных заготовок перекрывается машинным временем.

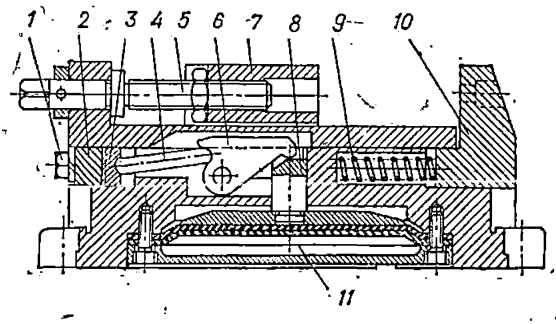


Рис. 177.

Особенностью всех приспособлений для фрезерных станков является высокая жесткость корпуса и зажимных элементов. Это требование обусловлено тем, что при фрезеровании контакт кромок режущего инструмента с обрабатываемой заготовкой является прерывистым, вследствие чего опасность появления вибраций при фрезеровании больше, чем, например, при точении или сверлении.

Приспособления для фрезерных работ обычно размещают на столах фрезерных станков и перемещают вместе с ними со скоростью подачи.

Размещение приспособлений зависит от площади стола станка; обычно на столах фрезерных станков можно наряду с одноместными принять многоместные приспособления с большим разнообразием приводов и зажимных устройств. В связи с тем что при фрезеровании возникают большие силы резания, а также вибрации обрабатываемых заготовок, для обеспечения заданной точности и надежности применяют усиливающие зажимные устройства различного типа.

Для фрезерных работ используют типовые и универсальные приспособления, к числу которых относятся пневматические станочные тиски (рис. 177). С помощью болтов *1* концы П-образной подвижной губки *10* соединены с планкой *2*. Неподвижная губка *7* может быть установлена в необходимое положение винтом *5*. При зажиме заготовки шток *8* пневматической камеры *11* с помощью рычага *6*, стержня *4*

и вкладыша *3* перемещает подвижную губку *10*. Обратный ход губки *10* совершается посредством пружины *9*.

Для фрезерования по контуру, если по объему производства изготовление специальных приспособлений нецелесообразно, применяют пневматические поворотные машинные тиски (рис. 178).

Поворотный корпус *8* приспособления, в нижней части которого размещена пневматическая камера, крепят на неподвижном основании *7*. Опорный стальной диск *6* обеспечивает передачу давления от диафрагмы на шток *5*, а затем посредством рычага *2* и толкателя *1* — подвижной губке *3*. В первоначальное положение подвижная губка возвращается пружиной *4*.

При обработке штампованных заготовок можно применять сменные накладки, соответствующие по форме обрабатываемым заготов-

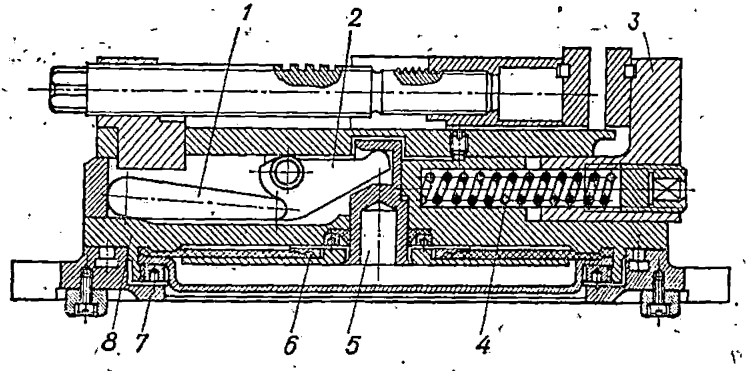


Рис. 178.

кам, причем одну из накладок выполняют качающейся, чтобы обеспечить самоустанавливание по контуру заготовки.

К типовым приспособлениям относятся также пневматические приспособления без усиливающих устройств, где шток зажимает заготовку. Однако применение их ограничено небольшими силами резания, а также необходимостью предварительной подготовки мест зажима.

Наиболее распространенным типовым приспособлением для фрезерных работ является пневматическое зажимное устройство с клиновым усиливающим механизмом. Преимуществом этого усиливающего механизма являются постоянство зажимной силы и жесткость конструкции, что особенно существенно при фрезеровании заготовок с установкой по необработанным поверхностям.

На рис. 179 показано двухпозиционное пневматическое приспособление с клиновым усиливающим механизмом. На первой позиции этого приспособления заготовка устанавливается необработанной поверхностью на две жесткие опоры *1* и на две самоустанавливающиеся опоры *2*. На второй позиции заготовка обработанной поверхностью устанавливается на жесткие опорные планки *4*.

Плавающий двусторонний клин *7* соединен со штоком *8* пневматического цилиндра Т-образным пазом. Зажимная сила передается

плунжером *6*, а через них посредством сухарей — качающимся планкам *5*, прижимающим заготовку к планкам *3*.

Для фрезерования торцов цилиндрических поковок применяют многоместные приспособления с пневматическим приводом. На рис. 180 показано четырехместное приспособление для фрезерования торцов заготовки карданного вала на горизонтально-фрезерном станке.

Обрабатываемые заготовки устанавливают на призмы *1* и *8* до упора торцами в болты, ввернутые в кронштейны, которые укреплены на корпусе приспособления.

Заготовки зажимают с помощью двух пневматических цилиндров, каждый из которых зажимает две заготовки. Цилиндры прикреплены к торцам корпуса приспособления в наклонном положении, что сокращает габариты приспособления.

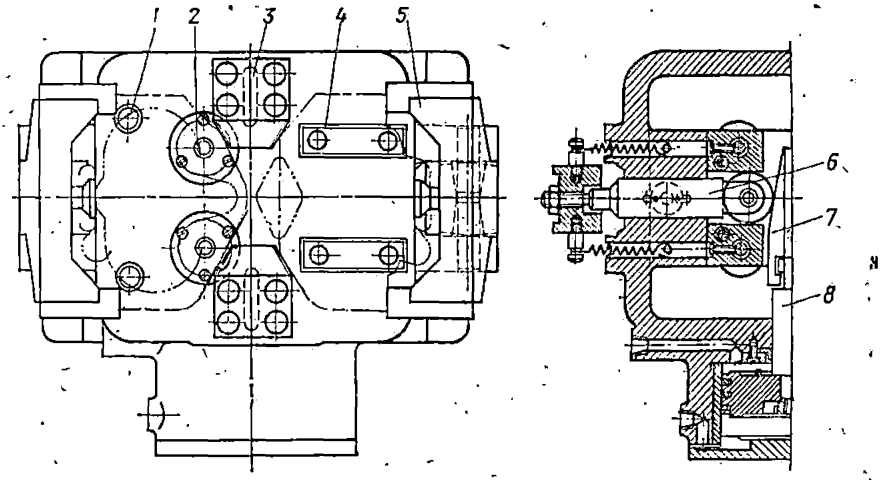


Рис. 179.

Штоки *18* пневматических цилиндров соединены с клиньями *17*, которые проходят через пазы в плунжерах *14*, и наклонными плоскостями упираются в ролики *16*, установленные в пазах плунжеров на осях *13*. Своей верхней плоскостью клинья опираются на ролики *10*, сидящие на осях *12* и запрессованные в корпус приспособления. На плунжеры *14* надеты прижимные планки *2*, которые пружинами *3* постоянно прижимаются к шайбам *6* и *7*, надетым на шпильки *5*.

Прижимные планки *2* удерживают и регулируют гайками *4*. Заготовки зажимаются и освобождаются поворотом рукоятки пневматического крана *9*, укрепленного на корпусе приспособления. При зажиме клинья движутся внутрь приспособления и своими наклонными плоскостями передвигают вниз плунжеры *14*, которые планками *2* зажимают в призмах обрабатываемые заготовки. При обратном движении клиньев пружины *15* перемещают плунжеры *14* вверх и освобождают заготовки от зажимов.

Угол клина, равный 10°, увеличивает силу действия цилиндров в 3,3 раза (с учетом потерь на трение в клиновом механизме). Благодаря опорным роликам *16* и *10* к. п. д. клинового механизма возрастает на 30%. Подвижное соединение клиньев со штоком цилиндров не требует точного растачивания отверстий под оси роликов *10* и сложной подготовки роликов и клиньев для обеспечения их касания.

Ход плунжеров составляет 8...14 мм, что позволяет (не поворачивая планки *2*) устанавливать и снимать обрабатываемые заготовки при крайнем верхнем положении планок; ролики *16* при этом упираются в плоскость клиньев. Для установки фрез к корпусу приспособления привернут шаблон *11*.

На рис. 181 показана конструкция поворотного пневматического приспособления для фрезерования в заготовке пазов, расположенных под углом 90°. Пневматическое приспособление состоит из корпуса *4*, посадочного пальца *1*, зажимных рычагов *3*, траверсы *2*, поворотного корпуса *13* с пневматическим цилиндром *11*, зубчатого колеса *12*, пневматического цилиндра *6* и штока-рейки *7*.

После установки обрабатываемой заготовки на посадочный палец *1* включают пневматический цилиндр *11*. Сжатый воздух при поступлении в правую полость цилиндра перемещают поршень *10* влево. Посредством траверсы *2* поршень *10* прижимает обрабатываемую заготовку рычагами *3* к торцу посадочного пальца *1*.

После фрезерования первого паза и возвращения приспособления в исходное положение включается второй пневматический цилиндр *6*; сжатый воздух при поступлении в верхнюю полость цилиндра *6* перемещает поршень *5* и шток-рейку *7* вниз.

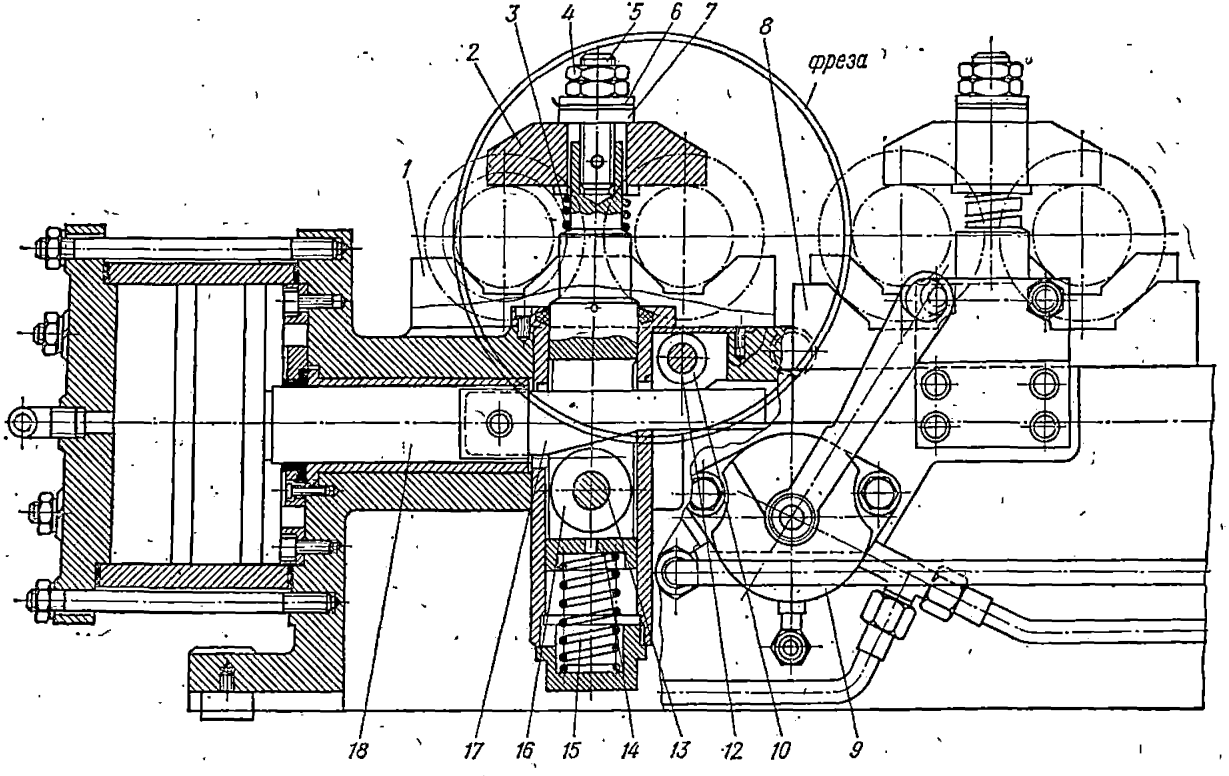
При этом зубчатое колесо *12*, жестко посаженное в поворотном корпусе *13*, вращается и поворачивает корпус на 90° до упора штифта *9* в регулируемый штифт *8*.

После фрезерования второго паза пневматический цилиндр *11* отключается, обработанная заготовка освобождается от зажима и ее снимают с приспособления.

На рис. 182 приведена конструкция пневматического двухместного приспособления, которое не только крепит, но и перемещает обрабатываемую заготовку до соприкосновения с опорами. Обрабатываемые заготовки устанавливают на четыре опорные планки *10* и прижимают в двух взаимно перпендикулярных направлениях к планкам и штырям *11* и *12*. Зажимная сила развивается подвижным пневматическим цилиндром *1*, расположенным в корпусе приспособления.

На корпусе приспособления находится хомут *3*, который связан шарниром с тягами *4*, поворачивающими прихваты *5* вокруг неподвижных осей *6* при перемещении цилиндра. На шток поршня *2* пневматического цилиндра посажен Т-образный прихват *9*, в стержне которого имеется винтовой паз *8*.

При включении распределительного крана *7* сжатый воздух поступает в полость *А* пневматического цилиндра и перемещает цилиндр с поршень со штоком в противоположные стороны, обеспечивая возможность установки обрабатываемых заготовок в приспособлении. При движении пневматического цилиндра хомут *3* и тяга *4* отводят


3
4
5
6
7
8
2
фреза
1
18
17
16
15
14
13
12
10
9

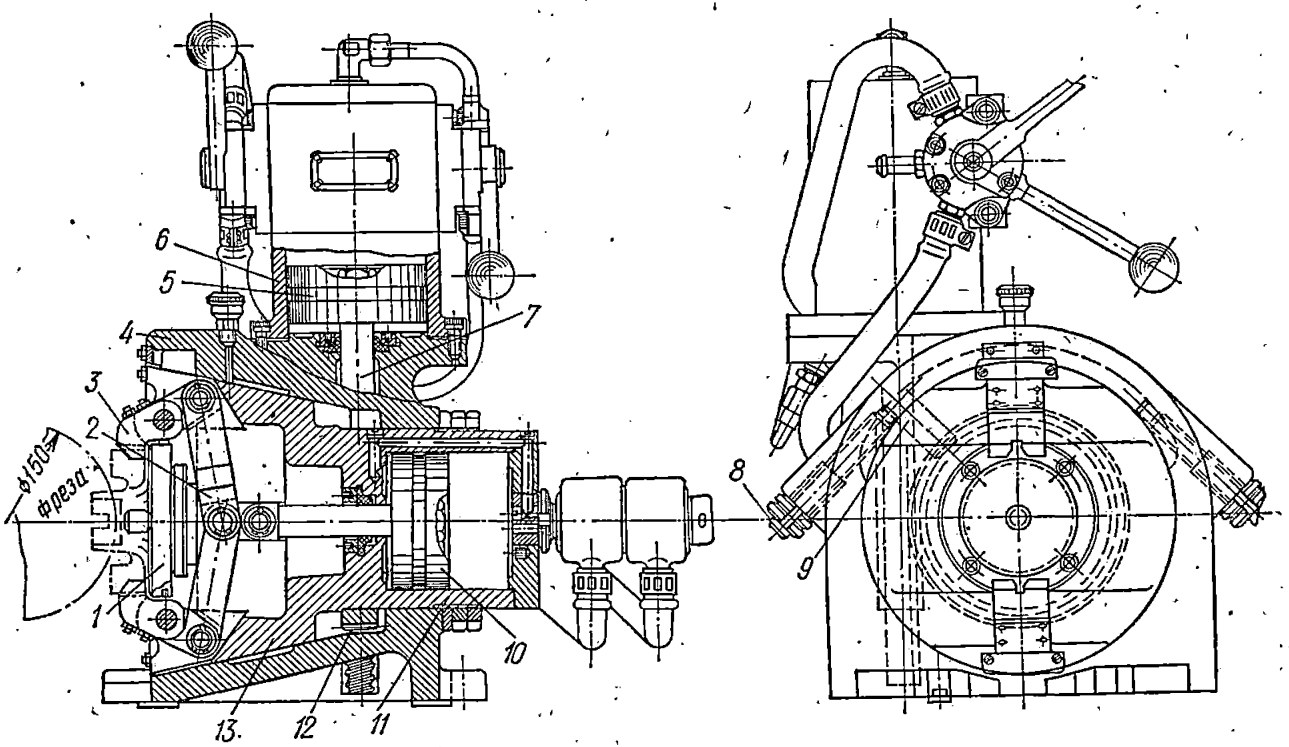


Рис. 181.

в стороны прихваты *5*. Перемещение штока с поршнем вызывает отвод с одновременным поворотом на 90° Т-образного прихвата *9*.

После установки обрабатываемых заготовок сжатый воздух направляется распределительным краном в рабочую полость *Б* пневматического цилиндра, а из полости *А* — в атмосферу. В этом случае пневматический цилиндр и шток с поршнем перемещаются в обратном направлении, причем прихват *9*, поворачиваясь на 90°, занимает горизонтальное положение и досылает обрабатываемую заготовку до упора со штырями *11*, а боковые прихваты *5* зажимают заготовки.

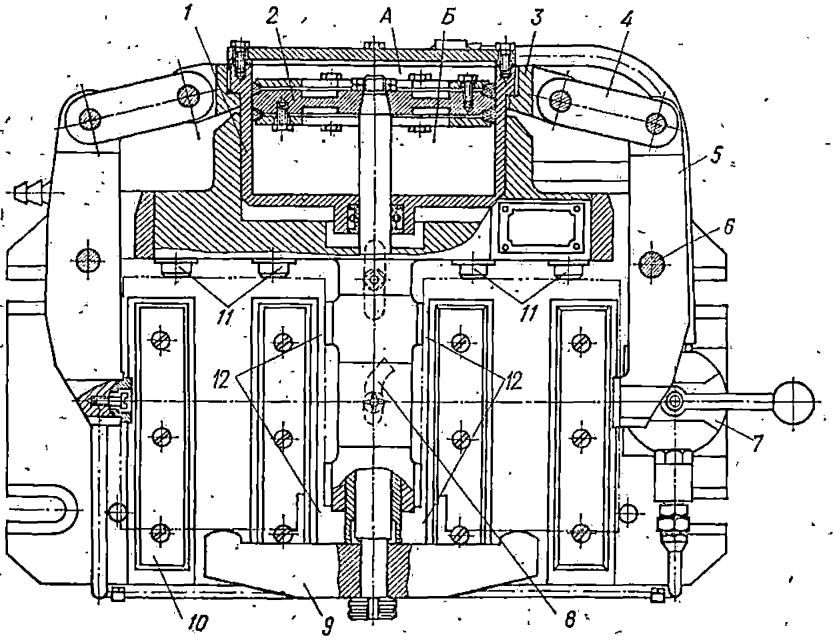


Рис. 182.

Наряду с приспособлениями, зажимающими обрабатываемые заготовки, с управлением от распределительного крана при обработке заготовок массового применения (грани, шлицы и т. д.) используют пневматические приспособления с автоматизированным управлением.

На рис. 183 показана конструкция пневматического приспособления для фрезерования шестигранника с автоматическим креплением и поворотом обрабатываемой заготовки.

Приспособление устанавливают на специальном столе, верхняя часть которого может перемещаться с помощью зубчатого колеса и рейки от рукоятки *14*. В средней части шпинделя находится делительный механизм с приводом от пневматического цилиндра *11*. Обрабатываемую заготовку зажимают в цанге *1*, управляемой от пневматического цилиндра *3*, установленного на вращающемся шпинделе *2* приспособления. На подвижной плите *13* стола смонтированы золотник *5*

для управления пневматическим цилиндром *3* и золотник *6* для управления пневматическим цилиндром *11*, на неподвижной части стола — кронштейн *10*, к которому прикреплен копир *9*, и упор *4*. При повороте рукоятки *14* по часовой стрелке конец плунжера золотника *5* упирается в упор *4* и направляет сжатый воздух в правую полость

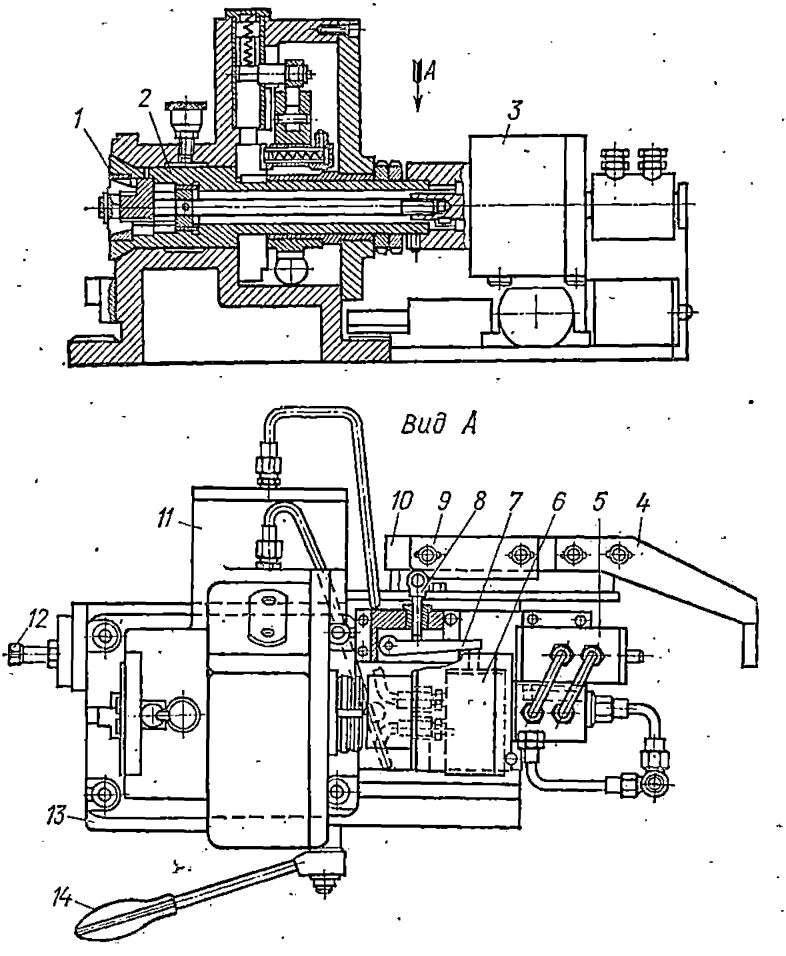


Рис. 183.

пневматического цилиндра *3*, причем цанга разжимается для установки заготовки. При повороте рукоятки *14* против часовой стрелки плунжер золотника *5*, отходя от упора *4* под воздействием пружины, направляет сжатый воздух в левую полость пневматического цилиндра *3*, при этом цанга зажимает обрабатываемую заготовку.

Приспособление в этом случае перемещается влево к фрезам; при дальнейшем перемещении приспособления до упора *12* осуществляется

рабочая подача. После фрезерования левой пары граней приспособление отводят вправо, при этом копир *9* отжимает плунжер *8*, переключая рычагом *7* плунжер золотника *6*, который направляет сжатый воздух в левую полость цилиндра, поворачивая шпиндель приспособления в следующее положение. При подаче приспособления влево, к фрезам, плунжер *8* отводится от копира *9*, а плунжер золотника *6* возвращается в исходное положение под действием пружины; при этом сжатый воздух направляется в правую полость пневматического цилиндра *11* и, передвигая поршень, вводит в действие делительный механизм для поворота шпинделя. При дальнейшем движении рукоятки *14* осуществляется фрезерование последней пары граней и приспособление отводится вправо, пока плунжер золотника *5* не дойдет до упора *4*, разжимая при этом цангу *1*.

Установка новых и переточенных фрез производится с помощью направляющих элементов приспособления, называемых г а б а р и т о м. Между габаритами и фрезой вводится щуп заранее заданной величины.

§ 76. Обработка на шлифовальных станках

Плоскости шлифуют периферией или торцом шлифовального круга. На рис. 184 приведены различные схемы шлифования плоскостей. Периферией круга можно шлифовать при возвратно-поступательном движении стола станка с обрабатываемой заготовкой (рис. 184, *а*). Шлифовальный круг при этом совершает вращательное движение и движение поперечной подачи на каждый двойной ход стола, а также радиальную подачу для перемещения его на глубину шлифования.

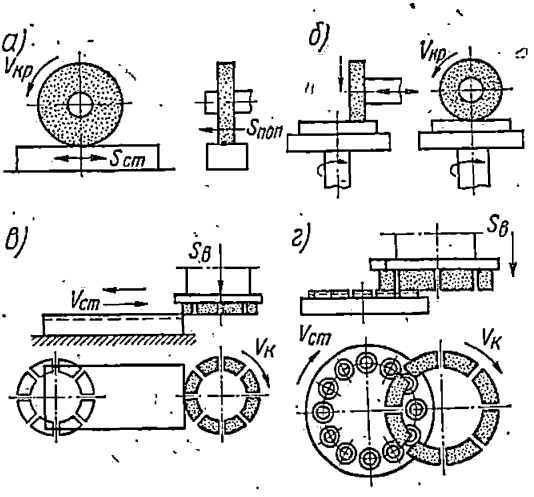


Рис. 184.

Шлифование периферией круга можно производить и при закреплении обрабатываемой заготовки на круглом вращающемся столе (рис. 184, *б*). В этом случае шлифовальный круг совершает вращательное и одновременно возвратно-поступательное движение параллельно шлифуемой поверхности. Шлифование плоскостей торцом круга выполняют как при поступательном движении обрабатываемой заготовки (рис. 184, *в*), так и при ее вращении (рис. 184, *г*). Фасонные поверхности шлифуют обычно специально заправленными шлифовальными кругами.

§ 77. Обработка на протяжных станках

Плоские поверхности протягивают сразу по всей ширине, поэтому зуб протяжки делают несколько шире, чем протягиваемую поверхность. Схемы протягивания плоскостей аналогичны схемам протягивания отверстий. Протягивание выполняют одновременно многими зубьями протяжки с таким расчетом, чтобы весь припуск металла был снят за один рабочий ход протяжки, причем припуск должен быть распределен равномерно между зубьями протяжки. Это обеспечивает большую производительность при минимальном машинном времени.

При протягивании необработанных поверхностей и поковок обычными плоскими протяжками их режущие кромки быстро тупятся и даже выкрашиваются. В этих случаях применяют протягивание, при котором режущие кромки протяжки, расположенные наклонно по отношению к направлению ее движения, срезают металл не по всей ширине обрабатываемой поверхности, а узкими полосами, снимая стружки толщиной 0,4...0,8 мм на один зуб, а калибрующие зубья зачищают обрабатываемую поверхность по всей ширине, т. е. протяжками прогрессивного резания.

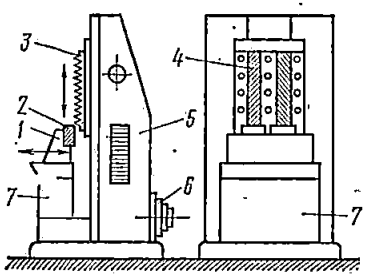


Рис. 185.

Величина припусков при наружном протягивании зависит от того, ведется ли обработка протягиванием по необработанным поверхностям (литье, поковка) или производится по предварительно обработанным поверхностям (фрезерование, строгание). В первом случае припуск на сторону принимается от 2 до 6 мм, во втором — от 0,25 до 1 мм. Шероховатость поверхности при наружном протягивании соответствует 6...7-му классам. В отдельных случаях может быть достигнута шероховатость, соответствующая 8-му и даже 9-му классам.

Большое разнообразие видов протягивания плоских поверхностей послужило причиной создания различных конструкций протяжных станков, из которых наиболее распространенными являются вертикальные, горизонтальные, карусельные и протяжные станки тунельного типа.

На рис. 185 приведена схема вертикально-протяжного станка для наружного протягивания. Станина *5* имеет коробчатую форму; в полой части ее помещен электропривод *6* с агрегатами гидропривода. На станине *5* по направляющим перемещается подвижная плита *3*, на которой крепятся плоские протяжки *4*. Подвижная плита перемещается возвратно-поступательно с разной скоростью, регулируемой гидроприводом. Длину и скорость рабочего хода плиты устанавливают в зависимости от выполняемой работы. Обратный ход плиты ускоренный.

На передней части станины имеется стол *7*, на котором установлен суппорт *1*, перемещающийся поперечно для установки глубины про-

тягивания. В приспособлении, расположенном на суппорте, закрепляют обрабатываемую заготовку *2*. После регулирования суппорта на определенную глубину протягивания на него устанавливают обрабатываемую заготовку и закрепляют ее. Протяжки, опускаясь, обрабатывают заготовку и в конце обработки останавливаются в нижнем положении; затем заготовку снимают и включают обратный ход протяжки. После возвращения протяжек в исходное положение в суппорт устанавливают новую заготовку. Далее цикл работы повторяется в том же порядке.

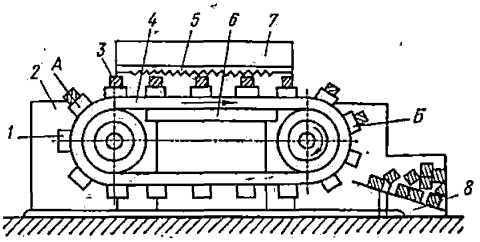
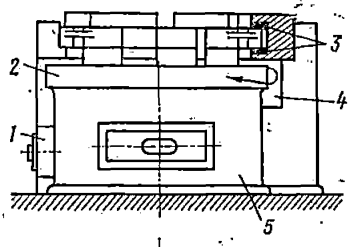


Рис. 186.

На рис. 186 приведена схема протяжного станка непрерывного действия. На станине *2* коробчатой формы смонтирована непрерывно движущаяся цепь *4*, на которой размещены приспособления *1* для установки и закрепления обрабатываемых заготовок *3*. На станине сверху установлен суппорт *7*, с внутренней стороны которого закреплена протяжка *5*. Под цепью *4*, в зоне прохождения заготовки под протяжкой, установлены жесткие направляющие *6*, обеспечивающие параллельное перемещение цепи и снятие определенного припуска.



Обрабатываемую заготовку устанавливают в приспособление на загрузочной позиции *А*; закрепляют ее вручную или автоматически. Заготовки, установленные и закрепленные

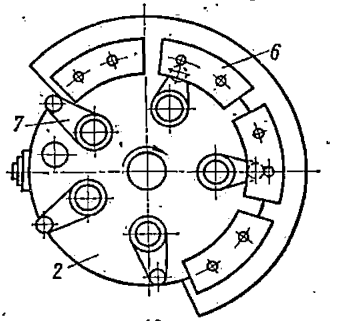


Рис. 187.

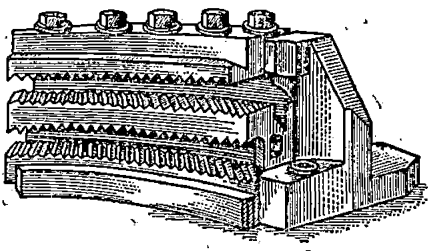


Рис. 188.

на движущейся цепи, проходят зону протягивания между протяжкой и направляющей плитой и после протягивания поступают с разгрузочной позиции станка *Б* в бункер *8*.

Стороны заготовки, а также поверхности, очерченные радиусом, круга, можно одновременно обрабатывать с двух сторон на карусельно-протяжных станках непрерывного действия (рис. 187).

На направляющих круглой станины *5* вращается стол *2*. В станине установлен механизм вращения стола, приводимый в движение от электродвигателя *1*. Скорость стола регулируется в зависимости от режима протягивания. Вокруг стола на жестком полукруглом суппорте *4* установлены четыре секционных держателя *6*, в прорезях которых закреплены протяжки *3*. На столе *2* установлены в приспособлениях заготовки *7*. При вращении стола заготовки протягивают между протяжками *3* последовательно через все держатели (секции) *6*.

Общий вид держателя (секции) с протяжками показан на рис. 188. При протягивании больших плоскостей применяют протяжные станки туннельного типа, принцип действия которых заключается в следующем: после закрепления обрабатываемой заготовки на столе станка ее поднимают на установленную высоту; на заготовку надвигается протяжка и обрабатывает ее; после обработки заготовку опускают, освобождают от зажима и удаляют через загрузочное отверстие, а протяжка возвращается в исходное положение.

Глава XXVI
ОБРАБОТКА СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

§ 78. Виды сложных поверхностей и их классификация

В конструкциях современных турбин, автомобилей, металлорежущих станков, самолетов, механизмов применяют детали сложной формы. Использование в деталях поверхностей сложной формы обусловлено назначением и требованиями выполняемого деталью, сборочной единицей или машиной рабочего процесса (например, придание рабочему колесу турбины в сечении формы равного сопротивления), необходимостью повышения к. п. д. энергетических и силовых установок (например, форму лопастей водяных и паровых турбин, гребных винтов и т. п.) и необходимостью осуществления заданного движения в машине или механизме (применение кулачков в распределительных валиках двигателей, кинематических цепях станков и т. п.).

На рис. 189 показаны характерные виды деталей со сложными поверхностями: *а*) гребной винт; *б*) крыльчатка; *в*) колесо насоса; *г*) винт с переменным шагом; *д*) колесо водяной турбины; *е*) дисковый кулачок; *ж*) цилиндрический кулачок; *з*) блок из кулачков.

В технике применяют разнообразные поверхности, однако наиболее распространенными являются три вида поверхности: 1) поверхности, подчиненные математическим уравнениям, определенной формы и с определенным расположением в пространстве, называемые алгебраическими; 2) поверхности, форма которых определена отдельными точками, а координаты этих точек заданы в виде числовых отметок, обычно сведенных в таблицу, называемые поверхностями с числовыми отметками; 3) поверхности, форма которых определяется конструктивной необходимостью, называемые конструктивными.

Алгебраические поверхности подразделяют на линейчатые, нелинейчатые и винтовые. Поверхности с образующей в виде прямой линии называются *линейчатыми*. В свою очередь линейчатые

поверхности подразделяются на два вида: развертываемые и неразвертываемые поверхности. К *развёртываемым* относятся цилиндрические и конические поверхности. К *неразвертываемым* поверхностям относятся конусоиды, коноиды и различные гиперболоиды и параболоиды.

Поверхности с образующей в виде кривой линии называются *нелинейчатыми*. К ним относятся поверхности второго порядка (шаро-

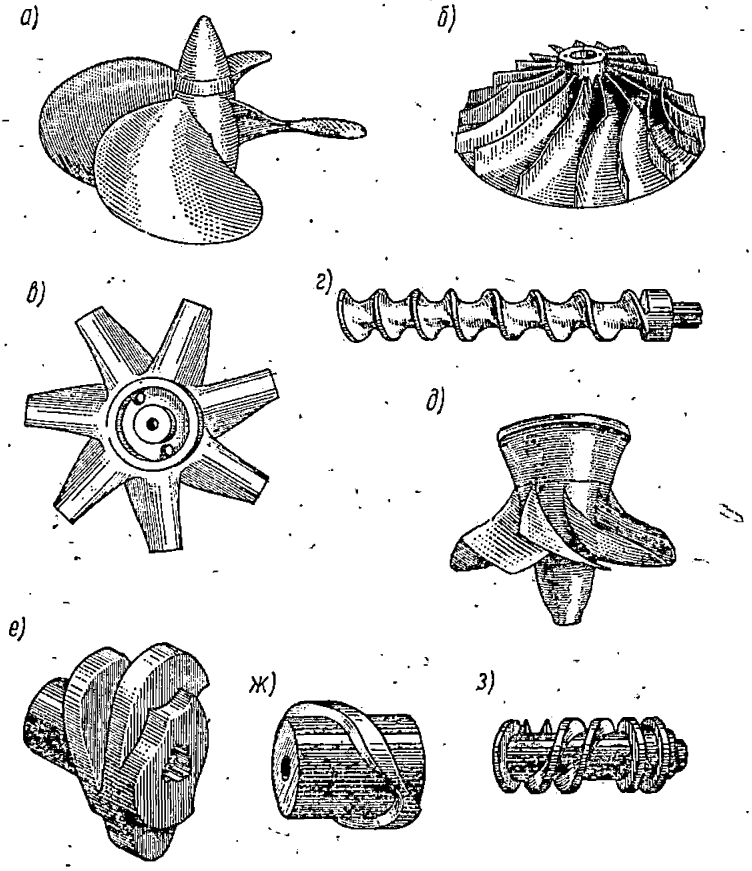


Рис. 189.

видные, сфероидальные и т. п.). Поверхности, образованные сочетанием двух движений образующей, расположенной под некоторым углом к оси, вращением ее вокруг оси с одновременным поступательным перемещением вдоль оси, называют *винтовыми*.

Поверхности с числовыми отметками применяют при необходимости задавать форму поверхности, исходя из физических условий ее работы. К ним относятся профили лопаток паровых, газовых и водяных турбин, гребных винтов и др.

Конструктивные поверхности классифицировать невозможно, так как они зависят от конструктивной необходимости. Такие

формы иногда встречаются в сочетании с поверхностями алгебраическими или поверхностями с числовыми отметками.

Различают также переходные поверхности, к которым относятся, например, поверхности перехода от ступицы к лопасти в гребных винтах, от хвостовой части к рабочей в лопатке турбины и т. п.

§ 79. Методы обработки сложных поверхностей

Сложные поверхности можно обрабатывать различными методами: с помощью копиров, с использованием настроенных кинематических цепей, с применением так называемых построителей, а также при сочетании различных методов обработки.

Копиры представляют собой ведущую деталь копировального устройства, очертания которой определяют траекторию движения режущего инструмента, соответствующую профилю обрабатываемой поверхности.

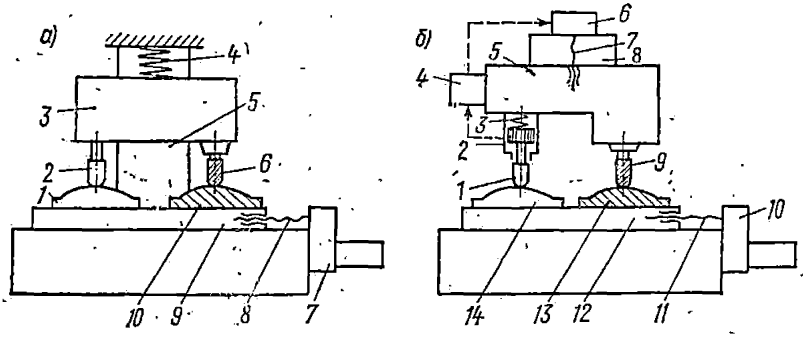


Рис. 190.

Системы управления процессом копирования подразделяют на системы прямого и непрямого действия. При *прямом действии* контакт копировального ролика (пальца) и копира обеспечивается массой груза, силой гидравлического давления или силой сжатия пружины. При системе *непрямого действия* копировальный ролик находится в соприкосновении с копиром под действием незначительной силы, измеряемой сотнями или даже десятками граммов. В этой системе копировальный ролик является промежуточным подвижным элементом, незначительные перемещения которого, измеряемые в сотых или десятых долях миллиметра, в виде команд передаются в специальные усилительные устройства, которые воздействуют на исполнительные механизмы и перемещают режущий инструмент и обрабатываемую заготовку.

На рис. 190, *а* приведена схема копировальной обработки по системе прямого действия с механическим управлением. Стол *9* перемещается ходовым винтом *8* от редуктора *7*. На столе *9* установлены копир *1* и заготовка *10*. При движении стола палец *2* с бабкой *3* под действием

копира *1* сжимает пружину *4* и перемещается в вертикальном направлении по стойке *5*. Фреза *6*, имеющая форму и размеры пальца *2*, при перемещении совместно с бабкой обрабатывает заготовку, придавая ей форму копира. Работа пружины *4*, сила которой больше, чем вертикальная слагающая от силы резания на фрезе, обеспечивает постоянный контакт между пальцем и копиром.

На рис. 190, *б* показана схема копирования по системе непрямого действия с гидравлическим, пневматическим или электронным управлением. Стол *12* с копиром *14* и заготовкой *13* перемещается от редуктора *10* через ходовой винт *11*. При этом палец *1* под действием копира *14* перемещается в корпусе *2*, соединенном с бабкой *5*. Пружина *3* обеспечивает постоянный контакт между пальцем и копиром. Незначительное перемещение пальца, как элементарную команду управления, можно увеличить, используя электронные, гидравлические, пневматические или другие устройства. Это усиление происходит в аппарате *4*, который затем сообщает команду двигателю *6*; последний через редуктор и ходовой винт *7* перемещает по стойке *8* бабку *5*. Соответственно фреза *9* обрабатывает заготовку по профилю копира.

Системы прямого действия обычно применяют на копировальных станках с механическим или ручным управлением, а системы непрямого действия — на копировальных станках с электронным, гидравлическим или пневматическим управлением.

Применение настроенных кинематических цепей основано на том положении, что кинематическая цепь, связывающая вращение режущего инструмента или обрабатываемой заготовки с другим перемещением инструмента или заготовки, обеспечивает получение заготовки определенной формы.

Примерами обработки с помощью настроенных кинематических цепей являются нарезание резьб, обработка червяка, спиралей и зубонарезание.

Сложные поверхности обрабатывают методом настройки и методом обкатки с использованием настроенных кинематических цепей.

На рис. 191 приведены примеры обработки поверхностей штампа радиусным фрезерованием методом настройки. Вначале торцевой фрезой радиуса R обрабатывают поверхность *7* (рис. 191, *б*) на глубину A (рис. 191, *а*) и по разметке проходят по периметру прямоугольника, обозначенного стрелками; затем в четырех местах *1*, *2*, *3*, *6* (рис. 191, *б*) обрабатывают заготовку концевой фрезой по радиусу r (рис. 191, *а*) на длину B; после фрезерования полуцилиндра *2* перемещают заготовку и обрабатывают полуцилиндр *6*; затем поворачивают заготовку на 90° и обрабатывают полуцилиндры *1* и *3*. В дальнейшем фрезеруют поверхности *4* и *5*.

Отсутствие конусных линеек на токарных станках не препятствует обработке конусов. Использование настроенных кинематических цепей позволяет посредством несложного приспособления обрабатывать конусы, особенно с малыми углами при вершине. Для этого достаточно (рис. 192) установить на винт суппорта *7* поперечной подачи вместо

маховика барабанчик *5* и, прикрепив к его поверхности гибкий металлический трос *2*, навить один конец троса на поверхность барабанчика; другой конец троса надо закрепить в неподвижном упоре *1*, прикрепленном к станине станка.

При продольном перемещении слева направо суппорта *4* продольной подачи (от ходового винта) барабанчик благодаря натяжению

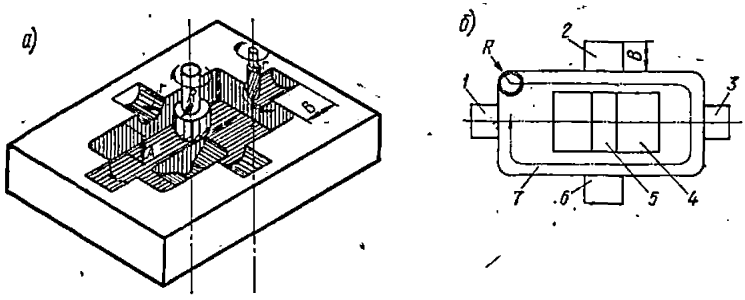


Рис. 191.

троса начнет поворачиваться и вращать ходовой винт поперечной подачи. Резец *6* будет обрабатывать на заготовке *3* конус с углом α.

При обработке по методу обкатки осуществляется сочетание движения режущего инструмента и обрабатываемой заготовки. В этом случае необходимо обеспечить определенную скорость вращения фасонного режущего инструмента, длина средней окружности которого представляет длину обкатываемого участка, например, при точении.

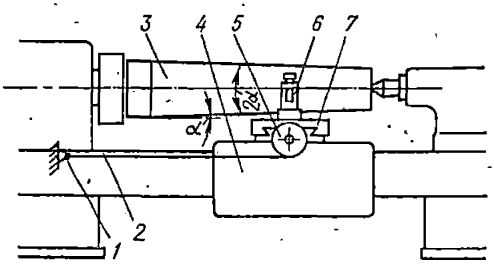


Рис. 192.

Наиболее широкое применение методы обкатки получили при обработке заготовок на токарных, фрезерных и долбежных станках.

При работе по методу обкатки по начальной прямой профиля тела вращения, без скольжения катится начальная окружность профиля инструмента. Заготовка, подлежащая обработке, вращается, а ось режущего инструмента движется равномерно вдоль оси заготовки. При такой схеме работы профиль режущего инструмента представляет огибающую последовательных положений профиля обрабатываемой заготовки при качении начальной ее прямой по начальной окружности инструмента.

Этот метод обработки имеет следующие преимущества: 1) применение этого способа не ограничивается формой образующей обрабатываемой заготовки; 2) улучшаются условия врезания инструмента (режущая кромка инструмента находится в зацеплении незначительное время); 3) профиль заготовки формируется не путем усложнения

станка, а за счет формы режущего инструмента; 4) упрощаются обслуживание и настройка станка.

Недостатками этого метода являются сложность проектирования и изготовления инструмента и в ряде случаев трудность обработки переходных кривых в местах соприкосновения профилей между собой.

Применяемые при обработке по методу обкатки фасонные резцы обеспечивают постоянство формы профиля, а также точность размеров обрабатываемых заготовок и допускают бо́льшее количество переточек.

Режущая кромка фасонного резца имеет формы профиля обрабатываемой заготовки, что позволяет обрабатывать как прямолинейные, так и криволинейные участки профиля, объединяя в одном переходе несколько переходов и операций.

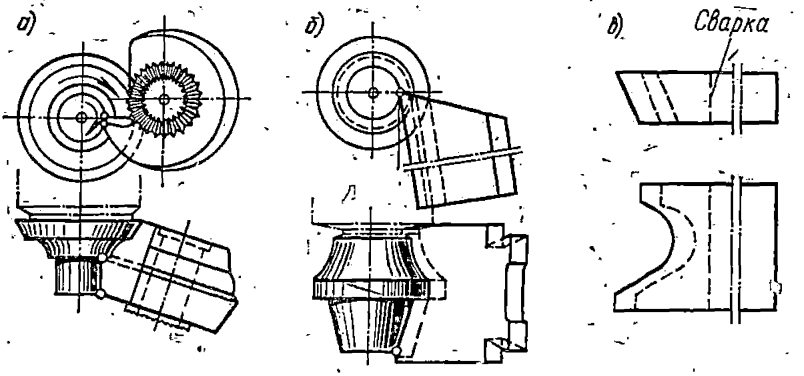


Рис. 193.

Фасонные резцы подразделяют по конструкции, расположению оси, форме образующей поверхности и установке. По конструкции фасонные резцы бывают дисковыми (рис. 193, *а*), призматическими (рис. 193, *б*) и стержневыми (рис. 193, *в*). Их устанавливают относительно заготовки в радиальном и тангенциальном направлениях с параллельным и наклонным расположением оси резца относительно оси заготовки.

По форме образующей поверхности различают фасонные резцы: круглые с кольцевыми или винтовыми образующими и призматические с плоскими образующими.

Профиль фасонного резца рассчитывают графическим или аналитическим методом. Графический метод применяют при расчете фасонных резцов, предназначенных для обработки заготовок криволинейной формы невысокой точности, а аналитический метод — при расчете резцов, предназначенных для обработки точных заготовок.

Построителями называют копиры, выполненные в виде отдельных механизмов. Они помогают получать отрезки или замкнутые точные кривые, воспроизведение которых по обычным копирам менее точно или значительно дороже. По видам построители делят на три группы: построители в виде механизмов, воздействующих

на копировальное устройство; построители в виде механизмов, воздействующих непосредственно на исполнительное устройство; электрические построители.

На рис. 194 приведена схема обработки отверстия большого диаметра на копировально-фрезерном станке с помощью несложного построителя. На столе *1* станка устанавливают заготовку *2*. На оси *4*, закрепленной в корпусе *3* приспособления, вращается подвижная линейка *5*, в которой имеется продольная прорезь с делениями; на одном конце расположено отверстие, в которое вводят копировальный палец *6*, а на другом — противовес, обеспечивающий переход через «мертвые» положения (на рисунке не показан). Под действием противовеса линейка, стремясь повернуться вокруг центра вращения, воздействует на палец, введенный в отверстие линейки. Отклонения пальца под действием противовеса передаются в виде сигналов механизмам следящего управления станка, вы-

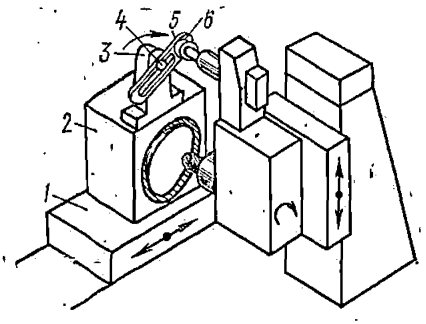


Рис. 194.

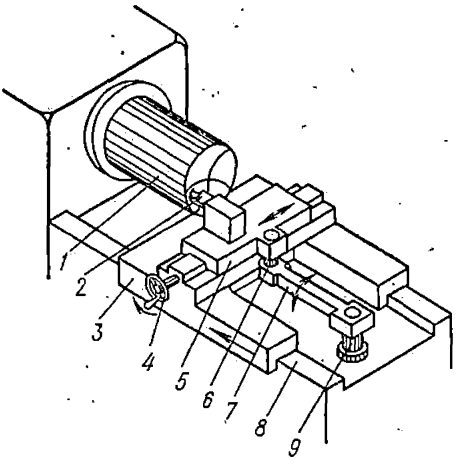


Рис. 195.

зывая повторение фрезой движений пальца. Вращаясь, фреза вырезает криволинейный паз радиусом, равным выдвинутой части линейки.

Для обработки части окружности с использованием указанного построителя на поверхности обрабатываемой заготовки делают разметку. Фрезу подводят к начальной точке, а копировальный палец вводят в отверстие в линейке, которая выдвигается на расстояние требуемого радиуса. Обработка паза заканчивается после перемещения фрезы из начальной в конечную точку. Перестановка линейки по корпусу *3* изменяет радиусы обработки, и таким образом вращающаяся линейка способствует обработке замкнутого паза определенной глубины.

На рис. 195 показана схема наладки токарного станка для обработки выпуклых и вогнутых торцов заготовок с *применением построителей, воздействующих непосредственно на исполнительное устройство* станка.

По направляющим *8* станины перемещается продольный суппорт *3*, отключенный от ходового винта. Для ограничения его перемеще-

ний поперечный суппорт *5* со стержнем *6*, расположенным консольно, соединяется с шатуном *7*, имеющим ось поворота *9*, закрепленную в станине. Если за маховичок *4* перемещать поперечный суппорт, то последний, будучи связан с осью, совершает движение по радиусу, равному длине шатуна. Дополнительное движение вдоль станины будет совершаться за счет продольного суппорта. Режущая кромка резца *2*, закрепленного в резцедержателе, будет перемещаться по радиусу и обрабатывать вогнутый торец на вращающейся заготовке *1*.

При расположении оси поворота с левой стороны от поперечного суппорта поверхность на торце обрабатываемой заготовки получится выпуклой.

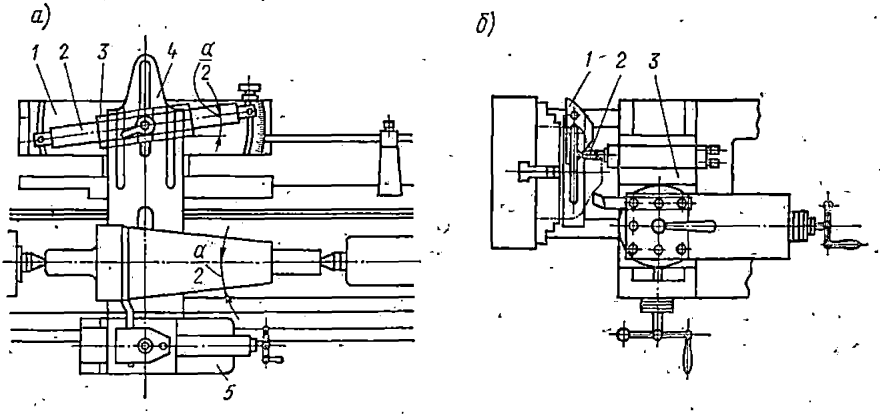


Рис. 196.

Электрические построители применяют в счетно-решающих устройствах, однако при программном управлении обработкой сложных поверхностей они еще не применяются вследствие сложности электрической схемы. Одним из возможных видов сложных поверхностей, обработка которых представляет интерес для использования электрических построителей, являются кулачки различных профилей, и в этом направлении в настоящее время ведутся соответствующие исследования.

Обработка сложных поверхностей при сочетании копиров, настроенных кинематических цепей и построителей обеспечивает наиболее широкие технологические возможности. Одним из примеров сочетания копиров с настроенными кинематическими цепями является обработка конуса по конусной линейке (рис. 196, *а*). На кронштейне *1* установлена линейка *2*, которая может быть повернута на заданный угол (равный половине угла α при вершине обтачиваемого конуса). По линейке перемещается ползун *3*, связанный с поперечной кареткой *5* жесткой тягой *4*. Поперечная каретка освобождена от винта поперечного суппорта. При движении продольной каретки по направляющим станины ползун, перемещаясь по линейке, через тягу застав-

ляет поперечную каретку вместе с резцом следовать по направлению копирной линейки под заданным углом.

Сферические и фасонные поверхности также обрабатывают, применяя копирные устройства (рис. 196, *б*). Копирный палец *2* устанавливают на суппорт *3*. Он находится в контакте с копиром *1*, укрепленным на станине станка. При поперечном перемещении суппорта режущий инструмент обтачивает фасонный профиль, копируя контур копира. Суппорт прижимается к копиру с отключением продольного перемещения.

В современной металлообработке широко применяется гидрокопирование. Для этой цели токарные станки оборудуют специальными гидрокопировальными устройствами (рис. 197).

Для установки гидрокопировального устройства необходимо снять верхнюю часть суппорта и освободить поперечные салазки каретки суппорта, после чего закрепить устройство на плите *10*, установленной на поперечных салазках каретки станка с задней стороны. При необходимости использовать токарный станок как универсальный нормальный поворотный резцедержатель крепят к плите *11*, устанавливаемой на салазках в передней части станка.

При обработке ступенчатых заготовок гидравлический суппорт *6* должен быть повернут на некоторый угол, чем обеспечивается нормальная работа резца при переходе от одной ступени к другой. Копирный палец *3*, перемещаясь по профилю копира *1*, находится в контакте с щупом *4* гидравлического механизма *5*. Копир, установленный на кронштейне *8*, прикреплен неподвижно к станине *7* станка. Иногда вместо копира применяют эталонную деталь, которую устанавливают между центрами бабок приспособления, размещаемого на кронштейне. В резцедержателе *2* устанавливают резец, который обтачивает заготовку *9*.

Работа гидросхемы копировального устройства основана на изменении давления копирного пальца на щуп, который, являясь плунжером золотника, при перемещении изменяет проходное сечение золотниковой выточки, вследствие чего происходит регулирование движения суппорта.

Это гидрокопировальное устройство работает по однокоординатной системе с продольной и поперечной подачами. Если необходим другой рабочий ход, то каретку суппорта отводят вручную в исходное положение и после замены копира первого прохода повторяют цикл обработки.

С применением лепестковых копиров (рис. 198) может быть осуществлена обработка данной заготовки как с несколькими рабочими ходами, так и обработка различных по конфигурации заготовок при непереналаживаемой оснастке, т. е. без замены копировального устройства, при этом каждой новой форме будет соответствовать свой шаблон лепесткового копира.

Лепестковый копир представляет собой набор из плоских шаблонов *1*, *2*, *3*, *4* (в масштабе 1 : 1 с контуром обработки), закрепленных на оправке, устанавливаемой в центрах гидросуппорта. При применении лепестковых копиров обычный универсальный токар-

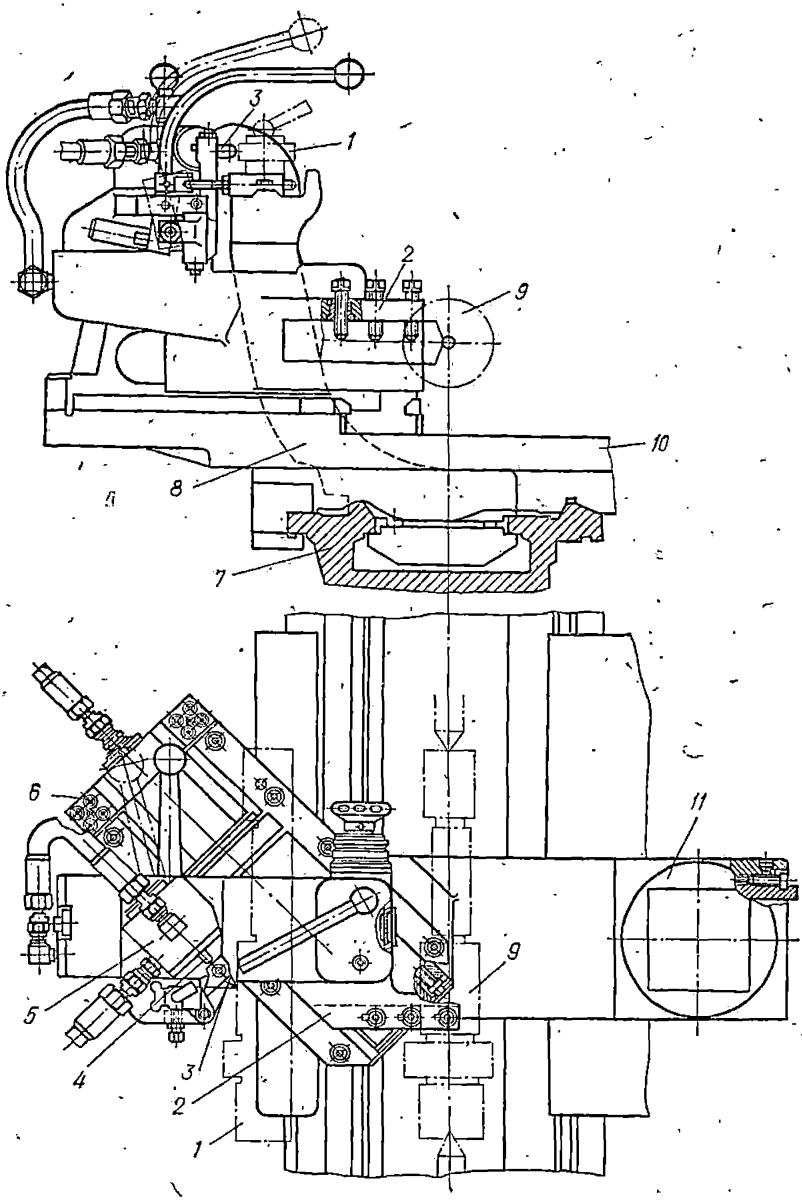


Рис. 197.

ный станок, снабженный гидрокопировальным устройством, оснащается механизмом для ускоренного возврата каретки суппорта в исходное положение (обгонной муфтой), механизмами включения и выключения гидросуппорта и медленного поворота лепесткового копира. Обгонная муфта присоединяется к коробке подач станка и осуществляет быстрый отвод каретки в исходное положение.

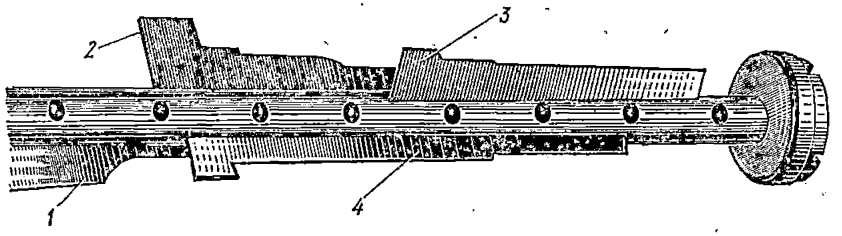


Рис. 198.

Механизмы включения и выключения гидросуппорта устанавливаются на его корпусе и перемещаются с ним в процессе обработки. В конце каждого рабочего хода системой рычагов, кинематически связанных с рукояткой управления гидросуппорта, гидросуппорт отводится от обрабатываемой поверхности заготовки под углом назад. При этом посредством конечного выключателя замыкается цепь электродвигателя ускоренного хода, возвращая суппорт в исходное положение.

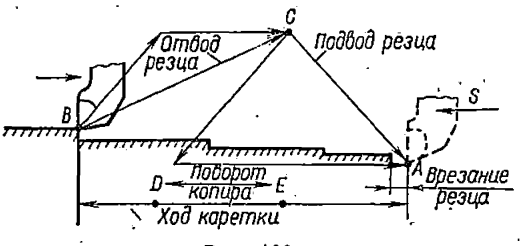


Рис. 199.

Механизм поворота лепесткового копира устанавливается в задней бабке гидросуппорта и приводится в действие во время ускоренного возврата гидросуппорта в исходное положение.

При отходе назад каретка суппорта в результате воздействия специального устройства поворачивает шпиндель копирной бабки вместе с лепестковым копиром, закрепляемым в центрах поводковым устройством, на 180, 120 и 90° (2, 3 и 4-й рабочие ходы). Автоматический цикл в несколько рабочих ходов завершается с остановкой станка при полном повороте лепесткового копира на 360°.

Цикл обработки с применением лепесткового копира состоит из трех этапов (рис. 199): а) подвод режущего инструмента от каретки суппорта станка (точка *A*) к торцу обрабатываемой заготовки и обточка профиля по первому шаблону (до точки *B*); б) отвод инструмента от обрабатываемой поверхности после окончания первого рабочего хода и ускоренный возврат каретки суппорта в исходное положение (до точки *A*); в) поворот лепесткового копира на следующий шаблон, соответствующий новому рабочему ходу.

Щуп и резец в результате перемещений от гидросуппорта и вдоль оси станка (от каретки суппорта) отводятся в исходное положение (из точки *B* к точке *C* по диагонали параллелограмма скоростей). Это движение осуществляется до тех пор, пока отходящая назад каретка гидросуппорта не достигнет упора, установленного на задней бабке лепесткового копира, в результате чего включается рукоятка управления гидросуппорта и под действием углового движения вперед (от гидросуппорта) и осевого движения назад (от каретки суппорта) щуп и резец подводятся к обрабатываемой поверхности от точки *C* к точке *A* по диагонали, при этом во время ускоренного возврата гидросуппорта в исходное положение между точками *D* и *E* приводится в действие механизм поворота копирной бабки. При размыкании упором цепи электродвигателя ускоренного хода каретка прекращает действие обгонной муфты, ходовой валик вновь получает прямое вращение от коробки подач, а гидросуппорт — движение рабочей подачи в сторону шпинделя станка, т. е. цикл завершается и начинается второй рабочий ход.

Сочетание копиров с рычажными механизмами применяют, если необходимо обеспечить передачу движения в каком-либо масштабе или конструктивную связь между расположенными в разных плоскостях подвижными сборочными единицами.

Наиболее характерным механизмом этого вида масштабного копирования является рычажный механизм, называемый *пантографом*. Рычажные механизмы применяют при гравировальных работах. Они предназначены для нанесения надписей, изображений и цифр на поверхности деталей.

На рис. 200 показана схема объемного копирования на специальном станке. На этом станке оси фрезы и копирного пальца расположены в вертикальной плоскости.

Копирный палец *A* со шпинделем *1* перемещается в вертикальном направлении. Движение уравновешивается грузом и двуплечим рычагом *5*, имеющим ось качения *3*. Внутри хобота находится рычаг *18*, качающийся на оси *4*, которая может перемещаться на расстояние 0,25 длины рычага, что обеспечивает изменение масштаба копирования в пределах 1 : 1...1 : 3. На конце рычага *18* имеется вертикальная зубчатая рейка *6*, находящаяся в зацеплении с зубчатым колесом *10*, длина которого соответствует горизонтальному перемещению хобота; другой конец *2* рычага *18* связан с корпусом шпинделя. Одновременно колесо *10* сцепляется с двойной рейкой *9*, находящейся в зацеплении с зубчатым колесом *11*, длина которого равна поперечному ходу обоих хоботов. Дальше кинематическая цепь идет через рейку *12*, зубчатое колесо *13*, рейку *14*, рычаг *17* и шпиндель *16* фрезы. Рычаг *17* имеет возможность качаться на неподвижной оси *15*. Элементы кинематики *14*, *13* и *12* соответствуют элементам *6*, *10* и *9*. Шпиндель *16* с фрезой *Б* имеет двуплечий рычаг *8* с грузом *7*. Если шпиндель *1* с копирным пальцем переместится вертикально, то и шпиндель *16* с фрезой тоже переместится в том же направлении вертикально, причем это перемещение будет выдержано в заданном настройкой масштабе.

Построители с настроенной кинематической цепью применяют для вращательного и поступательного перемещения режущего инструмента, при обработке на токарных станках заготовок квадратного сечения, для сверления шестигранных отверстий и других подобных видов обработки.

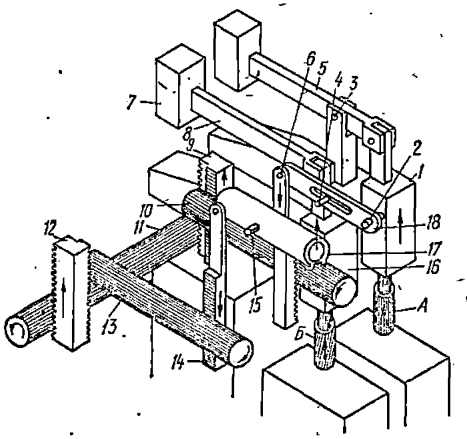


Рис. 200.

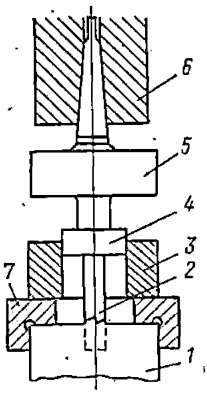


Рис. 201.

На рис. 201 показана схема копировального устройства для сверления правильных шестигранных отверстий. В шпинделе *6* станка укрепляют плавающий патрон *5* с направляющим кулачком *4* и сверлом *2*. При поступательном перемещении шпинделя *6* направляющий кулачок перемещается по неподвижному копиру *3* (или направляющей втулке), который совместно с промежуточной втулкой *7* устанавливают на обрабатываемой заготовке *1*.

Глава XXVII
ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

§ 80. Виды зубчатых колес, их назначение и характеристика

В передачах современных машин широко применяют зубчатые колеса, разнообразные по форме, размерам и профилям: от небольших зубчатых колес для приборостроения до зубчатых колес специального профиля для тяжелого машиностроения. Наиболее распространены цилиндрические зубчатые колеса с прямыми и косыми зубьями.

На рис. 202, *а* изображены *цилиндрические* зубчатые колеса с *прямым зубом*, на рис. 202, *б* — *цилиндрические* зубчатые колеса с *косым зубом*. Соединение двух косых зубьев с противоположными углами наклона на ободе цилиндрического колеса представляет собой зубчатую передачу с *шевронным* (елочным) *зубом*.

На рис. 202, *в* показана *коническая* передача с *пересекающимися осями*, причем угол встречи осей может быть любого значения. Конические колеса могут иметь прямые, косые и криволинейные зубья.

На рис. 202, *г* приведена зубчатая передача со *скрещивающимися осями*, состоящая из двух зубчатых колес с *винтовым зубом*. На рис. 202, *д* представлена еще одна схема передачи со скрещивающимися осями — обычная *червячная передача*, которая отличается от всех перечисленных выше тем, что один элемент передачи представляет собой винт (червяк), а другой — зубчатое колесо с фасонным зубом, сцепляющимся с витками винта.

На рис. 202, *е* изображена обычная *реечная передача*, одним элементом которой является зубчатое колесо с прямым или косым зубом, а другим — зубчатая рейка, которую можно представить как зубчатое колесо с бесконечно большим числом зубьев. Реечная пара передает движение как от зубчатого колеса к рейке, так и наоборот.

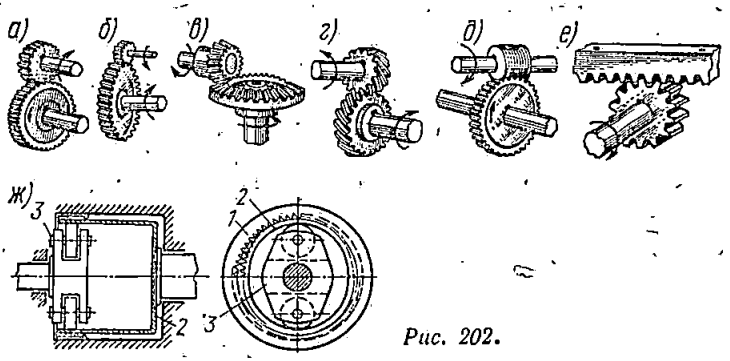


Рис. 202.

На рис. 202, *ж* приведена схема так называемой *волновой передачи*, основанная на новом принципе передачи вращательного движения за счет бегущей волновой деформации одного из зубчатых колес. Эта передача состоит из водила *3* с двумя роликами, свободно вращающимися на осях, закрепленных в водиле, неподвижного жесткого зубчатого колеса *1* с внутренними зубьями и вращающегося гибкого колеса *2* с наружными зубьями. Жесткое зубчатое колесо соединяется с корпусом передачи. Гибкое зубчатое колесо изготовляют либо, как в приведенном примере, в виде стакана с тонкой, легко деформирующейся стенкой, либо в виде свободно деформирующегося кольца.

Диаметр делительной окружности гибкого зубчатого колеса $d_{д.г}$ меньше диаметра делительной окружности жесткого колеса $d_{д.ж}$ на величину $\delta = d_{д.г} - d_{д.ж}$.

Гибкое зубчатое колесо помещается внутри жесткого зубчатого колеса, в котором оно обкатывается, а водило вставляется внутрь гибкого зубчатого колеса. Так как наружный размер водила больше внутреннего диаметра обода гибкого зубчатого колеса на величину δ, то гибкое зубчатое колесо растягивается и принимает форму эллипса.

Зубья зубчатых колес волновых передач изготовляют с треугольным или эвольвентным профилем.

В современном машиностроении применяют главным образом зубчатые колеса с профилем зуба, очерченным эвольвентной кривой.

Наряду с зубчатыми передачами с эвольвентным зацеплением в современных конструкциях применяются передачи М. Л. Новикова, основное отличие которых от эвольвентных заключается в применении колес с зубьями выпуклого и вогнутого дугового профиля (рис. 203, *а* *б*). Профиль зубьев зацеплений М. Л. Новикова в основном определяется размером дуги профиля r, радиусом окружности, проходящей через центры дуг профиля $R_{ц}$, размером центроиды — радиусом начальной окружности колеса в зацеплении $R_{н}$, смещением центра дуги профиля с оси симметрии зуба или впадины — углом ψ и другими размерами: высотой головок и ножек, радиусами окружностей выступов и впадин, шагом и числом зубьев.

Эти размеры задаются обычно в сечении, нормальном к винтовой линии зубьев в начальном цилиндре, или определяются путем задания размеров исходного контура сопряженной рейки.

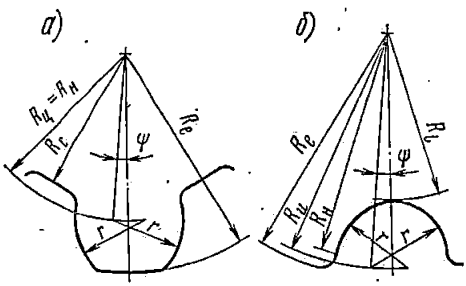


Рис. 203.

По ГОСТ 9178—72 и 1643—72 установлены 12 степеней точности зубчатых колес и передач с обозначением степеней в порядке убывания точности *. Для каждой степени точности установлены нормы: кинематической точности колеса; плавности работы колеса; контакта зубьев; бокового зазора.

Нормы кинематической точности определяют величину наибольшей погрешности угла поворота зубчатых колес за оборот при однопрофильном зацеплении с точным колесом. Эта погрешность возникает при нарезании зубчатых колес вследствие погрешностей взаимного расположения заготовки обрабатываемого колеса и режущего инструмента, а также вследствие кинематической погрешности зуборезного станка. Показателем кинематической точности является *предельная кинематическая погрешность* $\Delta F_i'$ (рис. 204, *а*).

Кинематическую погрешность можно оценить также *предельной накопленной погрешностью окружного шага* F_i, являющейся наибольшей погрешностью во взаимном расположении двух любых одноименных профилей зубьев по одной окружности колеса (рис. 204, *б*).

Показателем кинематической погрешности, обозначаемым v_w, служит также *колебание длины общей нормали*, т. е. между наибольшей и наименьшей длинами общей нормали в одном и том же колесе (рис. 204, *в*).

Норма плавности работы зубчатого колеса определяет величину составляющих полной погрешности углов поворота зубчатого колеса, многократно повторяющихся за оборот колеса.

---

* За основу (по аналогии с гладкими поверхностями) принята 7-я степень точности, соответствующая 2-му классу точности.

Показателем плавности работы колес является *циклическая погрешность*, обозначаемая f_i', которая представляет собой среднюю величину размаха колебаний кинематической погрешности зубчатого колеса по всем циклам за оборот колеса. Плавность работы зубчатого зацепления влияет на бесшумность и долговечность передачи (рис. 204, *г*).

Плавность работы колеса обеспечивается также ограничением *предельного отклонения основного шага* f_{pb}, которое является разностью действительного и номинального расстояний между двумя взаимно параллельными касательными к двум соседним одноименным профилям зубьев колеса (рис. 204, *д*).

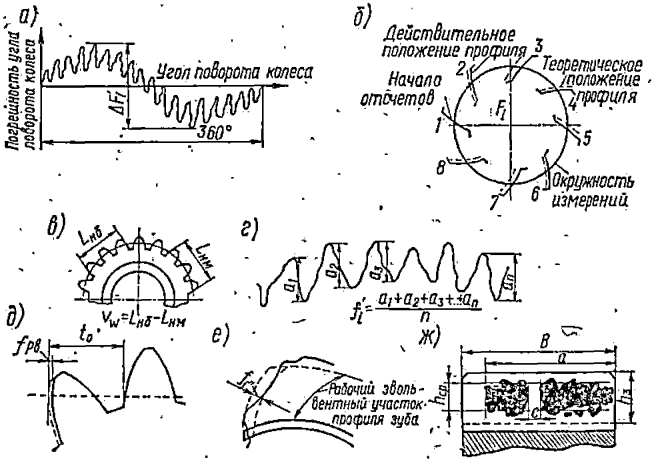


Рис. 204.

Погрешность профиля f_f характеризует расстояние по нормали между двумя теоретическими профилями зуба колеса, ограничивающими действительный профиль в пределах его рабочего участка (рис. 204, *е*).

Нормы контакта зубьев определяют точность выполнения сопряженных зубьев в передаче.

Пятном контакта называется часть боковой поверхности зуба колеса, на которой располагаются следы прилегания его к зубьям парного колеса после вращения передачи при легком торможении (рис. 204, *ж*).

Норма точности определяется относительными размерами пятна контакта (в процентах):

1) по длине зуба — отношением расстояния a между крайними точками следов прилегания за вычетом разрывов c, превосходящих величину модуля (мм), к полной длине B зуба (рис. 204, *ж*):

$$(a - c/B)100\%;$$

2) по высоте зуба — отношением средней высоты $h_{ср}$ пятна прилегания по всей длине зуба к рабочей высоте $h_з$ зуба:

$$(h_{ср}/h_з)\,100\%.$$

В табл. 21 приведены нормы точности по величине пятна контакта в зависимости от степени точности.

Таблица 21. **Нормы величины пятна контакта для цилиндрических колес**

Способ измерения	Степень точности						
	3	4	5	6	7	8	9
	Пятно контакта, %, не менее						
По высоте	65	60	55	50	45	30	20
По длине	95	90	80	70	60	40	25

Боковым зазором называется зазор между зубьями сопряженных колес в передаче, обеспечивающий свободный поворот одного из колес при неподвижном втором колесе. Боковой зазор определяется в сечении, перпендикулярном направлению зубьев, в плоскости, касательной к основным цилиндрам.

Гарантированный боковой зазор обозначают c_n. В ГОСТ 1643—72 предусмотрены нормы боковых зазоров, которые в соответствии с эксплуатационными требованиями могут быть различными.

Необходимую величину зазора получают в основном в результате смещения исходного контура.

Для зубчатых колес в передаче установлены шесть видов сопряжений: *A*, *B*, *C*, *D*, *E* и *H* — и восемь видов допуска на боковой зазор, обозначаемых в порядке его возрастания буквами *h*, *d*, *c*, *b*, *a*, *z*, *y*, *x*. В табл. 22 приведены виды сопряжений в зависимости от диапазонов степеней кинематической точности зубчатых передач. Точность изготовления цилиндрических зубчатых колес и передач задается степенью точности, а требования к боковому зазору — видом сопряжения по нормам бокового зазора.

В табл. 22 приведены виды сопряжений в зависимости от диапазонов степеней кинематической точности зубчатых передач.

Таблица 22. **Виды сопряжений, гарантирующих боковые зазоры для различных степеней точности***

Виды сопряжений	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*H*
Степени кинематической точности	3...12	3...10	3...9	3...8	3...7	3...7

* Для степеней точности 1-й и 2-й допуски и предельные отклонения не регламентируются.

Конические зубчатые колеса. Элементы, характеризующие точность конических колес, в основном те же, что и для цилиндрических, за исключением некоторых особенностей. Так, большинство элементов конического колеса определяется в торцевом сече-

нии делительного конуса, т. е. поверхности, являющейся в процессе нарезания колеса по методу обкатки начальной по отношению к обкатывающему конусу.

Торцевое сечение — сечение колеса сферической поверхностью, центр которой совпадает с вершиной делительного конуса.

Нормы точности и допуски для конических колес определены ГОСТ 9368—60 и ГОСТ 1758—56. В табл. 23 приведены нормы точности по величине пятна контакта в зависимости от степени точности.

Червячные колеса и червяки. Для червяков и червячных колес нормы точности и допуски определены ГОСТ 9774—61 и 3675—56. Так же как и для цилиндрических колес, предусмотрено 12 степеней точности. Степени 3, 4, 5 и 6-я установлены для кинематических червячных передач с регулируемым взаимным расположением червяка и колеса. Степени 5, 6, 7, 8 и 9-я — для силовых червячных передач с нерегулируемым взаимным расположением червяка и колеса. Для степеней 1, 2, 10, 11 и 12-й допуски и отклонения не предусмотрены.

Таблица 23. **Норма величины пятна контакта для конических колес**

Способ измерения	Степень точности						
	5	6	7	8	9	10	11
	Пятно контакта, %, не менее						
По высоте	75	70	60	50	40	30	30
По длине	75	70	60	50	40	30	30

В зависимости от степени точности установлены нормы: отклонений элементов червяка, отклонений элементов червячного колеса; кинематической точности передачи; циклической точности передачи; полноты контакта боковых поверхностей зубьев колеса и витков червяка. Нормы точности кинематической, циклической и полноты контакта определяют по червячному колесу.

§ 81. Основные методы обработки зубьев цилиндрических и конических колес

Выбор метода обработки зубчатых колес находится в прямой зависимости от установленной нормы точности различных их элементов, а также от основных требований передач в эксплуатации в соответствии с их назначением. С этой точки зрения зубчатые передачи можно разбить на следующие группы: 1) силовые передачи больших мощностей и высоких скоростей; основное требование — обеспечение высоких коэффициентов полезного действия; 2) силовые промышленные и транспортные передачи при средних скоростях; требования — надежность и плавный ход; 3) силовые передачи в станкостроении; требования — постоянство передаточного отношения и плавность хода;

4) передачи в автомобилестроении; требования — плавность и легкость хода; отсутствие шума; 5) кинематические передачи в точных приборах; требования — обеспечение постоянства передаточных отношений, отсутствие мертвого хода. Установленные ГОСТом степени точности учитывают эти условия, допуская как высокие технические показатели в одном направлении, так и низкие в другом, узаконив дифференциацию технических условий и комбинирование степеней точности.

Зубчатые колеса обрабатывают на разнообразных зубообрабатывающих станках. Зубья на колесах нарезают двумя способами: *копированием* (рис. 205, *а, б*) и *обкаткой* (огибанием) (рис. 205, *в, г*). При

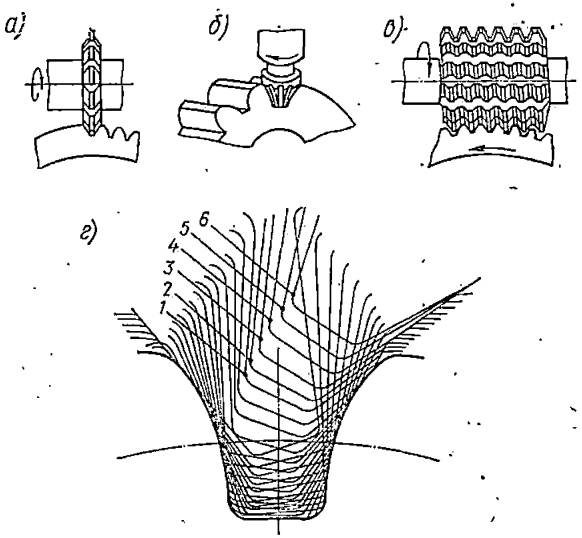


Рис. 205.

копировании режущему инструменту придают форму впадины между зубьями, а затем производят обработку, при которой профиль инструмента копируется на обрабатываемой поверхности.

Зубонарезание способом копирования можно выполнять: последовательным нарезанием каждого зуба колеса модульной дисковой или пальцевой фрезой на универсальном фрезерном станке; одновременным долблением всех зубьев колеса; одновременным протягиванием всех зубьев колеса; круговым протягиванием.

Способ копирования применяется главным образом при изготовлении зубчатых колес невысокой точности.

Современным, точным и производительным способом изготовления зубчатых колес является нарезание зубьев по способу обкатки червячной фрезой, круглым долбяком, реечным долбяком (гребенкой), зубострогальными резцами, резцовой головкой, накатыванием зубчатыми валками*.

* Описание и технологическую схему накатывания зубьев зубчатыми валиками см. в гл. XXX.

Способ обкатки заключается в том, что зубья на зубчатом колесе образуются при совместном согласованном вращении (обкатке) режущего инструмента и заготовки. Так, при зубофрезеровании прямолинейные боковые режущие кромки зубьев червячной фрезы, имеющие в осевом сечении трапецендальную форму, поочередно касаются нарезаемого зуба.

Рассматривая на рис. 205, *г* последовательные положения зубьев фрезы (*1*, *2*, *3* и т. д.), видим, что профиль впадины получается постепенно и состоит из множества прямолинейных участков, образованных зубьями фрезы. Эти прямолинейные участки накладываются один на другой и практически образуют не ломаный, а криволинейный (эвольвентный) профиль зуба.

Зубчатые колеса с 3-й по 8-ю степени точности нарезают методом обкатки, после чего сырые колеса 3, 4 и 5-й степеней точности подвергают тщательной обработке шевингованием, шлифованием и последующей отделке на притирочных станках и поверхности их закаливают токами высокой частоты (ТВЧ), исключающими деформацию поверхности. Зубчатые колеса, изготовленные с 6, 7 и 8-й степенями точности, обычно подвергают закалке в закалочных печах, дающих значительное искажение формы. Затем для сохранения формы у колес с 6-й и 7-й степенями точности шлифуют боковые профили зубьев с базированием по отверстию, а у колес с 8-й степенью точности шлифуют отверстие с базированием по впадине зуба. Зубчатые колеса, изготовляемые с 8, 9 и 10-й степенями точности, нарезают в мелкосерийном производстве на фрезерных станках в делительной головке, причем для колес, изготовляемых с 8-й степенью точности, фрезы тщательно профилируют по форме зубьев колеса.

Зубчатые колеса с 10-й и 11-й степенями точности могут быть получены точной отливкой с последующей обработкой зубьев по шаблону.

Фрезерование зубьев цилиндрических колес и реек дисковыми и пальцевыми модульными фрезами. Фрезерование зубьев колес представляет собой разновидность фасонного фрезерования. Режущие кромки зубьев дисковой и пальцевой фрезы изготовляют по форме впадины между зубьями колеса (рис. 205, *а*, *б*). В процессе работы фреза переносит («копирует») свой профиль во впадину зубьев, создавая, таким образом, две половины профилей двух соседних зубьев. После нарезания одной впадины заготовка поворачивается на один зуб с помощью делительного механизма, фреза снова врезается и проходит по новой впадине между зубьями.

Такой способ применяют в индивидуальном и мелкосерийном производстве, а также при ремонтных работах, на горизонтально-фрезерных станках с делительными головками. Недостатками этого способа являются:

1. Низкая степень точности обработки зуба, так как дисковые модульные фрезы изготовляют с приближенными профилями зубьев, причем каждый типоразмер фрезы рассчитан на несколько смежных чисел зубьев нарезаемых колес в определенном интервале.

Обычно для каждого модуля изготовляют наборы дисковых фрез, охватывающие все числа зубьев и диаметры нарезаемых колес. По стандарту имеется три набора из 8, 15 и 26 дисковых фрез, которыми с небольшой погрешностью, укладывающейся в пределы допуска, можно нарезать зубчатые колеса с разным числом зубьев. Чем больше модуль колеса, тем сильнее будут сказываться неточности. Поэтому для более точных работ применяют набор из 15 дисковых фрез, а для самых точных — из 26 дисковых фрез.

Таким образом, при этом способе нарезания получается лишь приближенный профиль зубьев на нарезаемом колесе.

2. Низкая производительность и высокая себестоимость обработки (большое машинное и вспомогательное время). Низкая производительность зависит от прерывности процесса обработки, вызывающей потери времени на врезание фрезы при каждом очередном зубе, на индексирование (поворот на зуб) заготовки, на подвод заготовки к фрезе, а также от относительно малого числа зубьев фрезы, работающих одновременно.

Для нарезания зубчатых колес крупных модулей (больше 20 мм) способом копирования, особенно шевронных колес*, применяют модульные пальцевые фрезы, так как дисковые фрезы подрезают зуб встречного наклона (рис. 205, *б*). На зубчатых рейках зубья нарезают также с помощью дисковых модульных фрез, на длинных рейках — на станках специального назначения, имеющих механизм деления для продольного движения рейки. Фрезеруют одной или двумя (и даже тремя) установленными рядом фрезами. При нескольких одновременно работающих фрезах одна (или соответственно две) из набора дисковых фрез служит для предварительной прорезки, а другая — для окончательного профилирования зубьев.

В современном машиностроении применяют зубодолбежные станки, производительность которых значительно выше, чем при нарезании зубьев на фрезерных станках, описанных выше. Высокая производительность достигается тем, что в работе одновременно участвует столько резцов (долбяков), сколько нужно нарезать зубьев на заготовке, причем резцы имеют форму впадин зубчатого колеса.

Многорезцовую обработку ведут по схеме, приведенной на рис. 206. Резцы *1* расположены радиально по отношению к заготовке *2*. Стружку снимают при возвратно-поступательном вертикальном движении заготовки *2*. Радиальная одновременная подача резцов *1* происходит в нижнем положении заготовки *2*, когда заготовка выходит из зацепления с резцами.

Фрезерование зубьев цилиндрических колес червячными фрезами. Способ фрезерования зубьев цилиндрических колес червячными фрезами является одним из наиболее распространенных. Червячная фреза представляет собой червяк,

---

* Указанный способ обработки шевронных колес применяют главным образом в единичном производстве; более производительным методом является образование зуба тремя резцами на специальном зубострогальном станке, долбяком по методу обкатки двух цилиндрических колес и методом обкатки зубчатой пары рейка — зубчатое колесо.

имеющий профиль осевого сечения винтовых ниток в виде зубчатой рейки и продольные канавки, образующие режущие зубья рейки (см. рис. 205, *в*).

Зубчатая рейка обеспечивает правильное зацепление с эвольвентными колесами любого числа зубьев, поэтому червячная фреза может нарезать колеса с любым числом зубьев (того же модуля и угла зацепления) одинаково точно. В этом заключается одно из больших преимуществ нарезания зубьев колес червячной фрезой.

В процессе нарезания червячная фреза и нарезаемое колесо находятся в состоянии относительного движения зацепления, соответствующего червячной передаче с передаточным числом

$$i = n_ф/n_з = z_з/z_ф,$$

где $n_ф$ и $n_з$ — числа оборотов фрезы и зубчатого колеса в минуту; $z_ф$ и $z_з$ — число заходов червячной фрезы и число зубьев нарезаемого зубчатого колеса.

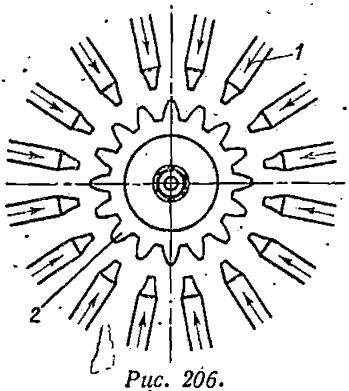


Рис. 206.

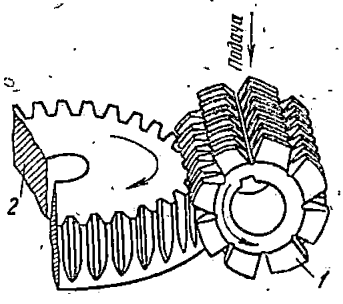


Рис. 207.

При резании червячная фреза вращается и движется поступательно в соответствии с вращением нарезаемого зубчатого колеса (рис. 207). Ось червячной фрезы *1* устанавливается под углом к плоскости торца нарезаемого колеса *2*, равным углу подъема нитки фрезы на ее делительном цилиндре. Червячная фреза кроме вращения имеет еще и поступательное движение подачи вдоль образующей боковой цилиндрической поверхности нарезаемого колеса. Процесс резания при этом происходит непрерывно и в нем участвует одновременно несколько режущих зубьев, благодаря чему этот способ нарезания зубьев является одним из наиболее производительных.

Червячную фрезу устанавливают или на полную высоту зуба (т. е. глубину резания) при нарезании зубьев за один рабочий ход, или при нарезании зубьев с модулем более 8 мм за два рабочих хода — на 0,6 высоты зуба при первом и на 0,4 при втором рабочем ходе. Для чистового рабочего хода оставляется припуск от 0,5 до 1 мм на толщину зуба по начальной окружности (для размеров модуля 8...15 мм). Обычными червячными фрезами нарезают зубья как с нормальным, так и с корригированным профилем. В последнем случае фреза соот-

ветственно требуемым условиям корригирования должна при установке дополнительно сместиться, чтобы приблизиться к заготовке или удалиться от нее.

Зубофрезерование можно производить при продольной (рис. 208, *а*), осевой (рис. 208, *б*) и диагональной (рис. 208, *в*) подачах. При продольной подаче червячная фреза перемещается вдоль оси обрабаты-

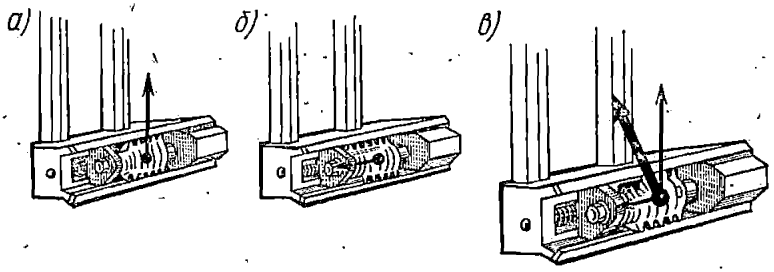


Рис. 208.

ваемой детали, при осевой — вдоль собственной оси. Диагональная подача — это сочетание вертикальной подачи вдоль обрабатываемой детали и осевой подачи фрезы вдоль своей оси. Диагональное зубофрезерование обеспечивает повышение стойкости инструмента, а качество поверхности рабочего профиля зубьев колес, нарезанных при диагональной подаче, значительно выше, чем при продольной подаче.

На зубофрезерных станках можно производить нарезание зубьев попутным (рис. 209, *а*) или встречным (рис. 209, *б*) фрезерованием

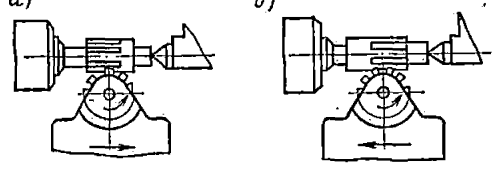


Рис. 209.

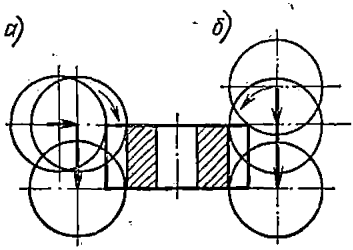


Рис. 210.

при этом попутное фрезерование эффективнее встречного, так как оно обеспечивает более благоприятные условия стружкообразования, меньшие колебания сил резания, меньшие вибрации при резании, что повышает стойкость инструмента и качество обработанной поверхности.

Значительная часть времени зубофрезерования расходуется на врезание, особенно при применении червячных фрез большого диаметра, так как с увеличением диаметра фрезы возрастает длина врезания. Для прямозубых колес средних модулей время врезания составляет 30...40% машинного времени зубофрезерования.

Врезание является прерывистым процессом, поэтому при осевом врезании обычно несколько понижают подачу по сравнению с последующей продольной подачей при резании. Трудоемкость врезания можно уменьшить примерно на 30% заменой осевого врезания (рис. 210, *б*) радиальным (рис. 210, *а*), сохраняя последующую продольную подачу; в этих условиях станок и инструмент в течение всего процесса обработки загружаются более равномерно.

Червячными фрезами нарезают как прямые, так и косые зубья цилиндрических колес. В последнем случае ось фрезы устанавливают под углом к торцу нарезаемого колеса, равным с у м м е углов подъема винтовой нитки фрезы и винтовой нитки (углов наклона зуба) нарезаемого колеса (при разных направлениях винтовых линий фрезы и колеса) и разности этих углов, если направления винтовых линий фрезы и нарезаемого колеса одинаковы.

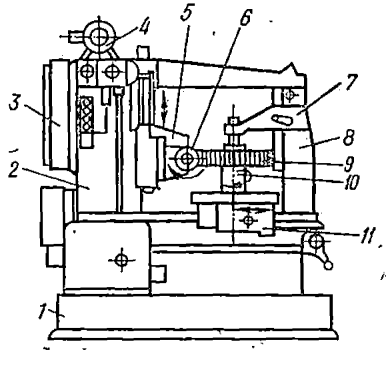


Рис. 211.

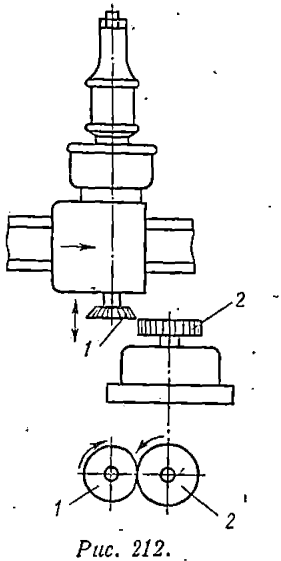


Рис. 212.

Наиболее распространенным зубообрабатывающим станком является зубофрезерный станок для нарезания колес с прямыми и косыми зубьями, а также червячных колес и червяков методом обкатки. Станок выполняет три движения: вращения червячной фрезы, вертикальную подачу фрезы, вращение заготовки.

На рис. 211 дан общий вид зубофрезерного станка. На станине *1* коробчатой формы установлены кронштейн *2*, стол *11* и опорная стойка 9. Главный привод *3*, смонтированный на кронштейне *2*, приводит в движение все механизмы станка.

Для ускоренного перемещения суппорта *5* на торце кронштейна *2* расположен дополнительный привод *4*. Червячная фреза *6* с приводом вращения установлена в суппорте, перемещаемом по направляющим кронштейна.

Круглый стол станка с оправкой *10*, на которой закрепляют заготовку колеса *9*, может перемещаться по горизонтальным направляющим станины в поперечном направлении с помощью специального механизма. Верхний конец оправки поддерживается опорой *7*.

Нарезание зубьев цилиндрических колес долбяком. Способ нарезания цилиндрического зубчатого колеса методом обкатки с помощью круглого долбяка заключается в том, что в процессе обработки колеса воспроизводится зубчатое зацепление двух цилиндрических колес, одно из которых является режущим инструментом, а другое — заготовкой.

Для обработки колеса необходимо (рис. 212), чтобы одно из колес, *1* или *2*, зубчатой пары (на практике — долбяк *1*) совершало при обкатке возвратно-поступательное движение, в результате чего на заготовке образуются зубья.

Зубчатая пара, установленная на станке, взаимно кинематически связана и в процессе обкатки воспроизводит зубчатое зацепление.

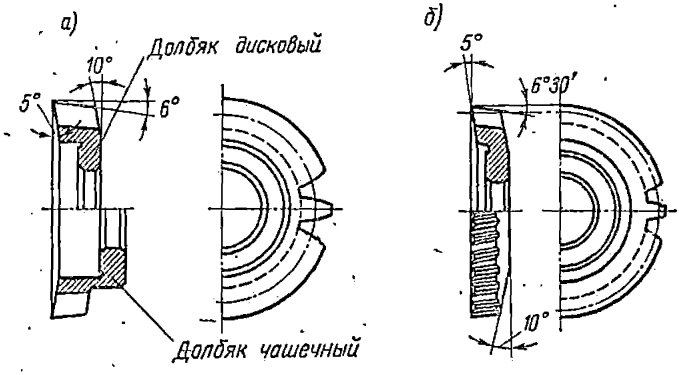


Рис. 213.

Колесо *1* служит режущим инструментом (долбяком) и одновременно производит вертикальное возвратно-поступательное движение, последовательно срезая зубьями материал заготовки *2*. Долбяк представляет собой зубчатое колесо, на торце которого заточкой образованы режущие кромки. Долбяк с прямыми зубьями, изображенный на рис. 213, *а*, предназначен для нарезания колес с прямыми зубьями, а долбяк дисковый косозубый (рис. 213, *б*) — для нарезания зубчатых колес с косыми зубьями.

На рис. 214 схематически показан общий вид зубодолбежного станка. На станине *1* установлен стол *8* с оправкой *7* для закрепления заготовки *6*. В верхней части станины расположена траверса *5*, предназначенная для перемещения в горизонтальном направлении (при изменении диаметра нарезаемого колеса) долбежной головки *4* с оправкой *2*. Движение всех механизмов станка осуществляется от главного привода *3*, расположенного в верхней части траверсы.

На конце оправки закреплен долбяк *9*, который совершает возвратно-поступательное движение с одновременным вращением вокруг своей вертикальной оси согласованно с вращением заготовки. В период врезания долбяка в заготовку горизонтально перемещается долбежная головка.

При нарезании зубьев цилиндрического зубчатого колеса с помощью реечного долбяка (гребенки) воспроизводится зубчатое зацепление цилиндрического колеса с рейкой, причем рейка (гребёнка) является режущим инструментом, а колесо — заготовкой.

При этом зубья можно нарезать двумя способами: обкаткой зубчатого колеса по гребенке (колесо совершает вращательное и поступательное движение при неподвижной гребенке) или гребенки по зубчатому колесу (колесо совершает вращательное движение, а гребенка — поступательное). Наиболее распространенным является первый способ.

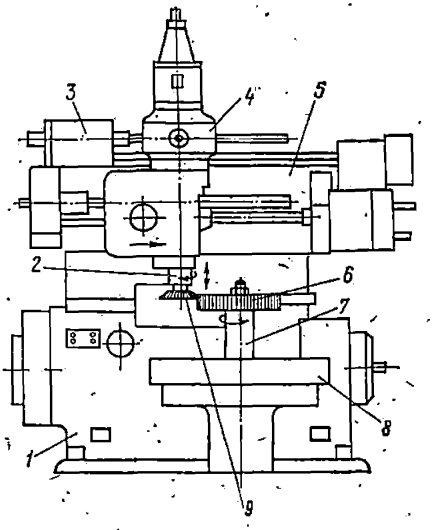


Рис. 214.

Зубонарезание прямозубых конических колес. Для обработки конических зубчатых колес применяют зубострогальные станки, работающие по методу обкатки одновременно двумя резцами.

На рис. 215 приведен общий вид зубострогального станка. В нижней части станины *9* расположен главный привод *11*, приводящий в движение рабочие органы станка. На плоской части станины разме-

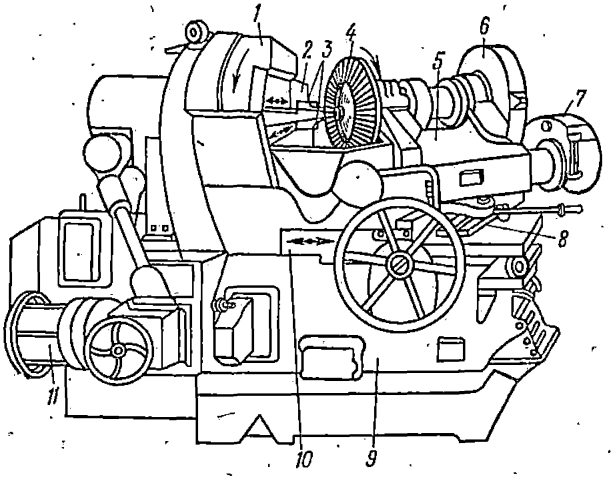


Рис. 215.

щены основные узлы станка: люлька *5* для крепления заготовки *4* и суппорт *1*, на котором размещены резцовые салазки *2*, совершающие возвратно-поступательные движения в радиальном направлении к

центру заготовки, а суппорт *1* приводит в движение резцы и совершает движение обкатывания вращением вокруг своего центра. Люльку с заготовкой устанавливают под заданным углом на направляющих *8*. Заготовка с помощью зубчатой передачи *6* совершает в период обкатки вращательное движение, а при отводе резцов *3* механизм *7* выполняет операцию деления. Салазки *10* подводят заготовку к резцам и отводят от них.

На рис. 216 приведена схема перемещения резцов в процессе зубострогания. Заготовка *1* обкатывается по плоскому зубчатому колесу *2* (суппорт), на котором размещены резцовые салазки с резцами *3*, в свою очередь вращающимися вместе с колесом. В правой части рисунка показаны направления движения резцовой головки относительно вращения заготовки.

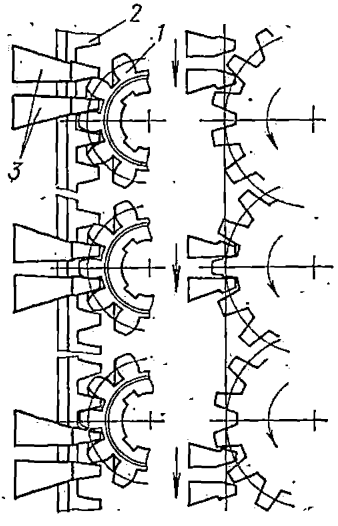


Рис. 216.

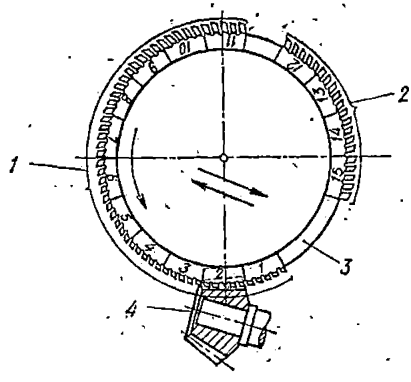


Рис. 217.

При обработке небольших прямозубых конических колес применяют *круговое протягивание* на специальных станках, где режущим инструментом является круговая протяжка. Круговая протяжка состоит из нескольких секций фасонных резцов (обычно 15 секций по пяти резцов в каждой), расположенных в порядке изменения профиля по периферии протяжки.

На рис. 217 показаны черновые резцы *1*, чистовые резцы *2* и зона поворота заготовки на один зуб *3*. Профиль и расположение вершин резцов изменяются по определенному закону.

Круговая протяжка, вращаясь с постоянной скоростью, одновременно перемещается поступательно с различной скоростью на отдельных участках своего пути. Скорость и характер поступательного движения круговой протяжки зависят от профиля копира станка, подбираемого применительно к обрабатываемому зубчатому колесу *4*. Таким образом, траектория рабочего движения каждого фасонного резца является совокупностью скоростей вращательного и поступательного движения протяжки.

При черновом протягивании круговая протяжка движется от вершины начального конуса зубчатого колеса к его основанию, а при чистовом — от основания к вершине.

За один оборот протяжки полностью обрабатывается одна впадина зуба конического зубчатого колеса. Во время протягивания впадины зуба заготовка колеса неподвижна; для обработки следующей впадины заготовка поворачивается на один зуб вокруг своей оси при подходе свободного от резцов сектора круговой протяжки.

Нарезание конических зубчатых колес с криволинейными зубьями. Конические зубчатые колеса с прямыми зубьями вследствие несовершенства конструкции не отвечают повышенным требованиям быстроходных передач на современных машинах (наблюдаются шум, неплавность работы, низкий к. п. д.).

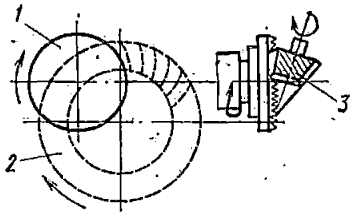


Рис. 218.

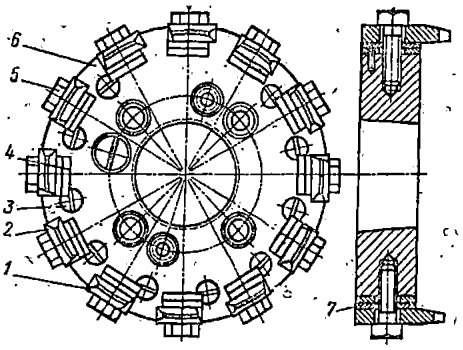


Рис. 219.

Конические колеса с криволинейными зубьями в значительной мере лишены этих недостатков. Наиболее распространенным способом получения криволинейных профилей зубьев конических колес является нарезание зубьев резцовыми головками. Станки для нарезания зубчатых колес этим способом весьма производительны и обеспечивают высокое качество изготовления колес.

На рис. 218 приведена схема формообразования конических колес с криволинейными зубьями (с профилем по дуге окружности). Резцовая головка *1*, представляющая собой режущую часть производящего колеса *2*, обкатываясь по поверхности конической заготовки *3*, образует на последней криволинейные зубья, осевая линия которых представляет собой дугу окружности.

Резцовая головка (рис. 219) представляет собой диск со вставленными по его периферии резцами, обрабатывающими профиль зуба с двух сторон (первая половина резцов обрабатывает одну сторону, вторая — другую). В корпусе *6* головки прорезаны пазы, в которые вставлены наружные *2* и внутренние *1* резцы, прикрепленные к корпусу винтами *5* и регулируемые винтами *3* с помощью клиньев *7* и прокладок *4*.

В табл. 24 и 25 приведены технологические варианты нарезания зубьев цилиндрических и конических колес, применяемых на заводах

Таблица 24. Технологические варианты нарезания цилиндрических колес с прямым и косым зубом

Зубчатые колеса с модулями от 1 до 2 мм	Степень точности	Зубчатые колеса с модулями от 2,5 до 10 мм	Степень точности	Зубчатые колеса с модулями то 11 до 20 мм	Степень точности
Одновенцовые зубчатые колеса					
1-й вариант		*1-й вариант*		*1-й вариант*	
Накатывание зубьев	7...9	1. Фрезерование дисковой фрезой начерно до $m=7$ мм за 1 рабочий ход и с $m=8$ мм за 2 рабочих хода	9...11	1. Фрезерование дисковой фрезой начерно до $m=15$ мм за 2 рабочих хода с $m=16$ мм до $m=20$ мм за 3 рабочих хода	
		2. Фрезерование дисковой фрезой начисто		2. Фрезерование дисковой фрезой начисто	9...11
				3. Фрезерование червячной фрезой начисто	7...8
2-й вариант		*2-й вариант*		*2-й вариант*	
Фрезерование модульной дисковой фрезой	9...11	1. Фрезерование червячной фрезой до $m=4$ мм за один рабочий ход начерно	6...7	1. Фрезерование червячной фрезой начерно с $m=15...20$ мм за 1—2 рабочих хода и при $m=20$ мм за 2...3 рабочих хода	6...7
Примечание. Шевингование после обработки по этому варианту повышает степень точности на 1...2 степени		2. Зубодолбление начисто	7...9	2. Фрезерование прецизионной червячной фрезой начисто	6...7
3-й вариант		*3-й вариант*			
Зубодолбление реечным долбяком	6...9	1. Фрезерование червячной фрезой начерно (1 рабочий ход)			
Зубодолбление круглым долбяком	7...9	2. Фрезерование червячной однозаходной фрезой начисто	6...8		
4-й вариант		*4-й вариант*			
Фрезерование червячной однозаходной фрезой	6...8	1. Фрезерование червячной фрезой однозаходной (1...2 рабочих хода) с оставлением припуска на шевингование	6...8		

		2. Шевингование	5...6	
5-й вариант		*5-й вариант*		
Зубошлифование абразивным червяком до $m=1$ мм после термической обработки (без предварительной прорезки)	4...6	1. Накатывание зубьев в горячем состоянии	9...11	
		2. Фрезерование червячной фрезой под шевингование	6...8	
		3. Шевингование	5...6	
		Примечания:		Примечание.
		1. Шлифование зубьев $m>1$ мм после термической обработки в зависимости от выбранного метода позволяет получить зуб до 4...5-й степени точности		Шевингование до $m=12$ мм после фрезерования повышает степень точности на 1...2 степени
		2. Притирка профиля зубьев после термической обработки чугунными (шаржированием) или абразивными колесами восстанавливает степень точности, полученную до термической обработки, но не повышает ее	4...5	Если система СПИД при зубофрезеровании достаточно жесткая, возможно фрезерование «острозаточенными» червячными фрезами за 1 рабочий ход до $m=24$ мм под шевингование

Блочные зубчатые колеса

Зубодолбление за один рабочий ход:	7...8	1. Зубодолбление черновое в 1...2 рабочих хода	7...8	
а) реечным долбяком		2. Зубодолбление	7...9	
б) дисковым долбяком	7...9	3. Шевингование	6...7	

Таблица 25. Технологические варианты нарезания конических зубчатых колес

Виды зубчатых колес	Зубчатые колеса с модулями $m \leqslant 3$ мм	Степень точности	Зубчатые колеса с модулями $m = 4...10$ мм	Степень точности
Прямозубые	*1-й вариант* Зубострогание прямолинейными специальными резцами	7...8	*1-й вариант* 1. Строгание начерно 2. Строгание начисто 3. Шлифование профиля зуба	7...8 6...7
	2-й вариант Зубофрезерование двумя дисковыми обкатывающими фрезами с $m = 1{,}5$ мм	7...8	*2-й вариант* Фрезерование за один рабочий ход сложнопрофильной фрезой (до $m = 8$ мм)	
			3-й вариант Фрезерование двумя обкатывающими дисковыми фрезами (с модулем до 10 мм)	8
Криволинейные	*1-й вариант* Фрезерование торцевыми круглыми головками	7...8	*1-й вариант* 1. Обработка торцевыми головками начерно 2. Обработка торцевыми головками начисто 3. Шевингование или шлифование	7...8 6...7
	2-й вариант Фрезерование коническими червячными фрезами до $m = 2{,}5$ мм	7...8	*2-й вариант* Обработка червячными коническими фрезами начерно и начисто до $m = 7$ мм	7...8
	3-й вариант Фрезерование концевыми профильными фрезами (по методу обката)	7...8	*3-й вариант* Обработка концевыми профильными фрезами по методу обкатывания начерно и начисто	7...8

крупносерийного и массового производства. Эти варианты обеспечивают высокую точность и производительность труда. В отдельных случаях производственные условия могут вызвать отступление от этих рекомендаций, однако такие отступления должны быть только частными случаями.

§ 82. Основные методы обработки зубьев червячных пар

Элементами пары червячной передачи являются *червяк* и *червячное колесо*, оси которых перекрещиваются обычно под углом 90° (в некоторых механизмах тяжелых станков применяют передачи с осями, перекрещивающимися под углом 45°).

Червяки бывают *цилиндрические* (рис. 220, *а*) и *глобоидные* (рис. 220, *б*). Сечение витков цилиндрического червяка осевой плоскостью представляет собой рейку с прямолинейными или криволинейными боковыми сторонами. Осевое сечение глобоидного червяка имеет форму круговой прямобочной рейки.

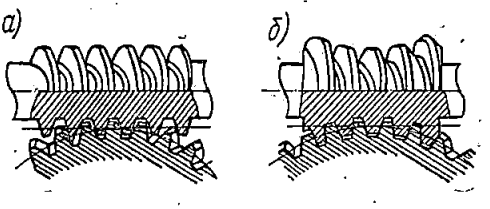


Рис. 220.

Среди цилиндрических червяков наибольшее распространение для неответственных передач получил *винтовой* червяк (*архимедов* червяк), представляющий собой как бы обычный винт с трапецеидальной резьбой. Винтовая поверхность этого червяка образуется вращением вокруг оси и одновременным перемещением вдоль оси (за каждый оборот) прямой, проходящей через ось червяка и наклоненной под некоторым углом к оси; при сечении плоскостью, проходящей через ось червяка, витки имеют трапецеидальный профиль (рис. 221, *а*). Червячная пара с таким червяком обладает низким к. п. д. и подвержена быстрому износу, поэтому ее применяют в неответственных, тихоходных и слабонагруженных передачах.

Другой разновидностью цилиндрического червяка является *эвольвентный* червяк (рис. 221, *б*). Он представляет собой как бы цилиндрическое зубчатое колесо с эвольвентной винтовой поверхностью. В сечении червяка плоскостями, перпендикулярными оси основного цилиндра, получаются эвольвенты, от которых этот червяк и получил свое название.

Червячные пары с эвольвентными червяками часто используют в ответственных передачах при больших нагрузках и скоростях, но изготовление таких передач требует применения специального оборудования и сложных методов обработки.

Наконец, третьей разновидностью цилиндрического червяка является червяк с *прямолинейным* профилем в нормальном сечении витка и с удлиненной эвольвентой боковой стороны витка в сечении, поперечном к оси (рис. 221, *в*). Такой червяк называют *конволютным* червяком. Он является разновидностью эвольвентного червяка. Эти

червяки более просты в обработке, чем эвольвентные, и обеспечивают достаточную точность зацепления червячной передачи, имеют высокий к. п. д. и износостойкость.

Глобоидные червяки обладают большой поверхностью соприкосновения витков червяка с зубьями червячного колеса, что обусловливает снижение давления, а следовательно, и износа поверхности зубьев червячной пары. Винтовая нитка у этого червяка образуется при винтовом движении профиля не по цилиндрической поверхности, а по поверхности глобоида. Несмотря на сложность изготовления, их широко применяют в передачах для больших мощностей.

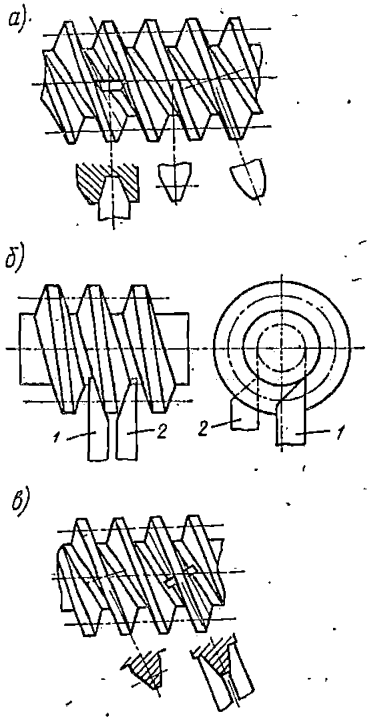


Рис. 221.

Нарезание червяков. Простейшим видом обработки червяков является нарезание их на токарном станке резцом с прямолинейным профилем. Для получения правильного профиля витков профиль резца должен иметь контур впадины между зубьями червяка в определенном его сечении и совмещаться при нарезании с плоскостью этого сечения.

Чтобы получить архимедов червяк, профиль резца с прямолинейными кромками должен быть совмещен с плоскостью, проходящей через ось червяка (рис. 221, *а*). Однако с увеличением угла подъема витка нарезание червяка одним резцом становится затруднительным вследствие изменения величины угла, что приводит к выходу из строя режущего инструмента из-за выкрашивания режущей кромки. Поэтому архимедовы червяки при большом угле подъема витков заменяют эвольвентными или конволютными.

Эвольвентный червяк нарезают двумя резцами *1* и *2*, профили режущих кромок которых совмещаются с двумя плоскостями, расположенными касательно к поверхности основного цилиндра с двух сторон (рис. 221, *б*). По мере увеличения диаметра основного цилиндра установка резцов выше и ниже центра вызывает определенные трудности вследствие изменений углов резания, поэтому при нарезании эвольвентных червяков применяют профильные резцы, соответствующие контуру нормального сечения впадины червяка с установкой плоскости профиля нормально к ее оси.

Конволютный червяк нарезается резцом, установленным своим профилем в плоскости, параллельной оси червяка, выше или ниже ее на определенную величину или наклонно к ней, с совмещением оси

симметрии профиля резца с осью червяка. Конволютные червяки с прямолинейным рабочим профилем обрабатывают двумя резцами (рис. 221, *в*).

Глобоидный червяк нарезают резцом с прямолинейной режущей кромкой, при этом ось резца вращается синхронно с нарезаемым червяком для воспроизводства относительного движения профилей зубьев червяка и червячного колеса в зацеплении. Этот вид червяка обрабатывают резцом на зубофрезерном станке.

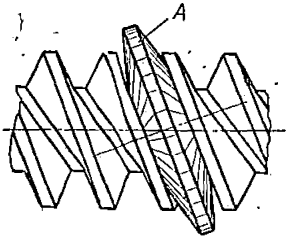


Рис. 222.

Кроме обработки червяков резцом на токарном станке применяют также нарезание червяков профильным резцом и фрезами на фрезерных и резьбофрезерных станках.

Нарезание червяков дисковой фрезой — более производительный способ обработки, но при этом искажается профиль червяка в результате подрезки вследствие различия углов подъема витка у основания и вершины, особенно у многозаходных червяков. Поэтому этот способ обычно применяют для предварительной обработки профиля червяка. При нарезании дисковой фрезой (рис. 222) с режущими кромками прямолинейного профиля ось вращения фрезы *А* располагается под углом к оси червяка, равным углу подъема витков червяка.

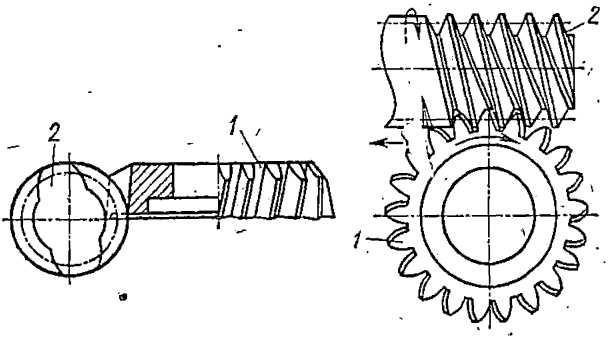


Рис. 223.

Наряду с нарезанием червяков дисковой фрезой различные виды червяков обрабатывают червячной фрезой на обычных зубофрезерных станках. Так, при обработке червячной фрезой с прямолинейными режущими кромками зуба можно нарезать эвольвентный червяк.

Для нарезания архимедовых и конволютных червяков применяют специальные червячные фрезы с криволинейным профилем режущих кромок зуба. Этот способ обработки при высокой производительности требует наличия сложного инструмента; так как он приводит к искажению профиля поверхностей витков червяка, то его применяют для предварительной обработки.

Из производительных методов обработки, обеспечивающих высокую точность, является нарезание червяка на специальных станках (типа «Корнелис» и др.) долбяком (рис. 223). Долбяк *1*, установленный относительно осевой плоскости нарезаемого червяка *2*, имеет движение подачи вдоль оси червяка. Кроме того, долбяку и червяку сообщается вращательное движение обкатки. В результате сочетания этих движений нарезаются все витки червяка.

При этом методе обработки (при точном изготовлении долбяка) профиль поверхности червяка не искажается и нарезание червяка долбяком является высокоточным и производительным. Однако необходимость изготовления долбяков для каждого угла подъема витков нарезаемых червяков увеличивает затраты на подготовку производства, поэтому применение этого метода экономично только в крупносерийном или массовом производстве.

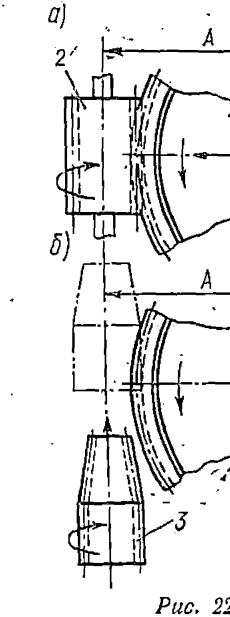


Рис. 224.

Нарезание червячных колес. Червячные колеса нарезают на зубофрезерных станках червячными фрезами тремя методами: радиальной подачи; тангенциальной подачи и комбинированным методом.

При *методе радиальной подачи* (рис. 224, *а*) заготовка *1*, находясь все время в зацеплении с червячной фрезой *2*, совершает радиальную подачу на фрезу до установленного размера *A*, при этом фреза совершает только вращательное движение. На червячном колесе получается правильный профиль зубьев при полном зацеплении червячной фрезы с заготовкой. Недостаток указанного метода заключается в том, что червячная фреза работает не всеми режущими кромками и изнашиваются только зубья средней части фрезы, постоянно находящиеся в контакте с заготовкой. Этим методом нарезают зубья червячного колеса на обычном зубофрезерном станке без дополнительного специального суппорта. Настройка цепи деления станка при этом аналогична настройке при нарезании цилиндрических зубчатых колес с прямым зубом. Дополнительную настройку радиального перемещения стола производят в зависимости от заданной радиальной подачи.

При *методе тангенциальной подачи* (рис. 224, *б*) заготовку червячного колеса *1* устанавливают на размер межцентрового расстояния *A* сразу и фрезу *3* вводят в зацепление с заготовкой осевым перемещением. Фреза *3* имеет коническую заборную часть и, работая всеми своими режущими кромками, изнашивается равномерно. В процессе резания фреза не только вращается, но и перемещается поступательно по оси. При этом заготовка *1* кроме основного вращательного движения, связанного с зацеплением, должна иметь дополнительное враща

тельное движение, зависящее от осевого перемещения фрезы *3*, иначе зубья червячной фрезы будут срезать зубья червячного колеса. Осевое перемещение фрезы *3* и дополнительное вращение заготовки червячного колеса *1* бсуществляет специальный суппорт, который при нарезании червячных колес устанавливают на зубофрезерном станке.

Комбинированный метод нарезания червячных колес представляет собой последовательное сочетание методов радиальной и тангенциальной подач, причем первый применяют для предварительного нарезания зубьев, а второй — для окончательной обработки. Под окончательную обработку оставляют соответствующий припуск, величина которого должна компенсировать погрешность предыдущей обработки. При комбинированном методе применяют как червячные фрезы, так и профильные резцы, причем применение последних, особенно для окончательной обработки червячного колеса, обеспечивает наиболее высокую точность.

§ 83. Отделочные виды обработки зубчатых колес

Отделочные виды обработки зубчатых колес подразделяют на обработку со снятием стружки шевингованием, шлифованием, хонингованием, притиркой и обработкой без снятия стружки — обкатыванием. К отделочным работам со снятием стружки относят также зубозакругляющие операции, снятие фасок и заусенцев.

Шевингование зубьев применяют для незакаленных колес. Оно заключается в том, что посредством специального инструмента методом его обкатки по зубчатому колесу с поверхности зуба снимают припуск величиной 0,1...0,25 мм. В качестве инструмента применяют дисковый шевер — зубчатое колесо, на поверхности зубьев которого имеются узкие прорези, образующие кромки, или шевер — рейку с аналогичными зубьями.

Шевер для обработки прямозубых зубчатых колес имеет винтовые зубья с углом подъема до 15°, а для обработки косозубых — прямые зубья. На рис. 225 показан дисковый шевер с режущими кромками на боковых поверхностях зубьев.

Из двух способов шевингования наиболее распространенным является шевингование зубьев с помощью дискового шевера. Шевингование производят на специальном станке (рис. 226). Шевер *4*, установленный под углом к оси обрабатываемого зубчатого колеса *5*, получает принудительное вращение со скоростью 250 об/мин, вызывая этим вращение зубчатого колеса, свободно установленного в центрах на оправке *6*. Скрещивание осей приводит к продольному относительному скольжению зубьев шевера и зубчатого колеса.

Для резания шевером поверхности зуба столу *8* собирают продольную подачу 0,1...0,3 мм на один оборот зубчатого колеса. В конце хода столу сообщают поперечную (вертикальную) подачу 0,02...0,04 мм, после чего стол возвращается в обратном направлении. Число ходов стола зависит от величины припуска. При необходимости получить зубья бочкообразной формы, имеющие большое распространение в современных конструкциях зубчатых передач, используют преду-

смотренную в станке качающуюся плиту *7* с кронштейном *3* и установленным в нем пальцем *1*. Палец индексируется в копире *2*, укрепленном на кронштейне, и, скользя по копиру, заставляет плиту *7* в конце хода стола наклоняться, в результате чего шевер врезается в зубчатое колесо, формируя зубья у краев более тонкими, чем в середине.

Обработка зубчатого колеса продолжается в течение 12...14 двойных ходов стола, время на обработку одного зуба колеса равно 2...3 с. Точность обработанных шевингованием зубчатых колес составляет в среднем до 0,005 мм по шагу и профилю и до 0,03 мм по биению начальной окружности при классе шероховатости поверхности 8...9-м.

Зубошлифование осуществляют в основном двумя методами: обкаткой и профильным копированием с помощью фасонного шлифовального круга. Шлифованием достигают шероховатости поверхности 8...10-го классов, с точностью основ-

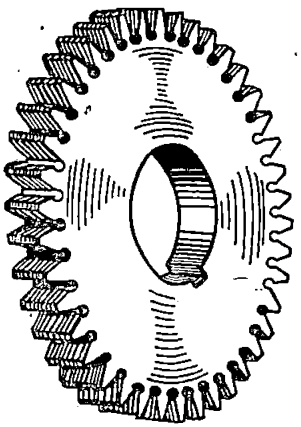


Рис. 225.

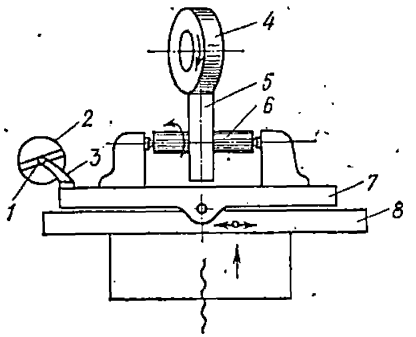


Рис. 226.

ных параметров зубчатого колеса в пределах 4...6-й степеней точности независимо от величины оставляемого припуска.

Шлифование зубьев методом обкатки заключается в том, что в процессе шлифования воспроизводят зубчатое зацепление пары рейка — зубчатое колесо, в котором инструментом является рейка. Этот метод применяют на современных станках, используя шлифовальные круги различных видов.

На рис. 227, *а* изображена схема шлифования зуба цилиндрического колеса методом обкатки зубчатой пары рейка — зубчатое колесо. Два шлифовальных круга *1* установлены таким образом, что их торцы, обращенные к шпинделям, совпадают с боковыми сторонами зубьев воображаемой производящей рейки *2*, находящейся в зацеплении с заготовкой *3*. Обкатываясь по вращающейся заготовке *3*, шлифовальные круги своими торцами шлифуют поверхность зубьев колеса.

Более производительным является шлифование абразивным червяком (рис. 227, *б*). Шлифовальному кругу, изготовленному в виде одно-

или двухзаходного червяка диаметром 300 мм, в процессе обработки сообщаются два движения: вращательное *I* — вокруг оси (движение резания) со скоростью 20...30 м/с и поступательное *II* — вдоль оси заготовки (движение подачи) со скоростью 0,6 мм за один оборот колеса. Зубчатое колесо получает вращение *III* вокруг своей оси, согласованное с вращением абразивного червяка, и периодическое радиальное движение подачи *IV*. Точность обработки однозаходным червяком соответствует 6-й степени точности, двухзаходным — 7-й степени точности. Достигаемый класс шероховатости поверхности обработанных зубьев 7...10-й. На рис. 227, *в* показана схема шлифования зуба профильным копировальным фасонным шлифовальным кругом.

Зубохонингование. Для повышения класса шероховатости поверхности профиля зуба и уменьшения шума при работе

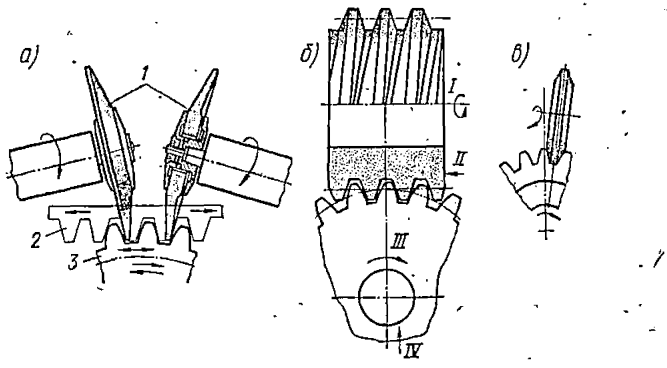


Рис. 227.

передачи применяют хонингование зубьев колес после термической обработки. Зубохонингование производят на станке, аналогичном шевинговальному, при скрещивающихся осях хона и обрабатываемого колеса, но без механизма радиальной подачи. При этом установленное в центрах зубчатое колесо совершает кроме вращательного (реверсируемого) и возвратно-поступательное движение вдоль своей оси.

Зубчатый хон представляет собой геликоидальное колесо, изготовленное из пластмассы и шаржированное абразивом, зернистость которого выбирается в зависимости от величины припуска (0,025...0,05 мм) и требований к классу шероховатости поверхности.

Хонингование производят в распор при постоянном давлении между зубьями обрабатываемого колеса и хона или способом беззазорного зацепления колеса и хона при неизменном межцентровом расстоянии. Первый способ обеспечивает изготовление зубчатых колес более высокой точности. Зубохонингование осуществляется при обильном охлаждении для эффективного удаления металлической пыли с обрабатываемой поверхности профиля зуба. Его применяют для обработки прямо-

зубых и косозубых колес с модулем 1,25...6 мм, а также колес с фланкированными* и бочкообразными** зубьями.

Скорость зубохонингования (одного зуба) 1...5 м/с, продолжительность 1...1,2 с, достигаемый класс шероховатости поверхности 10...11-й, стойкость зубчатого хона составляет до 18...20 тыс. зубчатых колес.

Притирку зубьев зубчатых колес производят после их термической обработки на специальных станках, где инструментом служат притиры — чугунные колеса, находящиеся в зацеплении с обрабатываемым зубчатым колесом. Притиры смазывают смесью мелкого абразивного порошка с маслом.

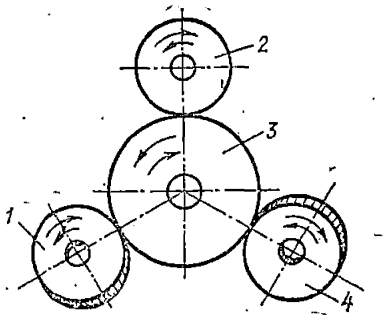


Рис. 228.

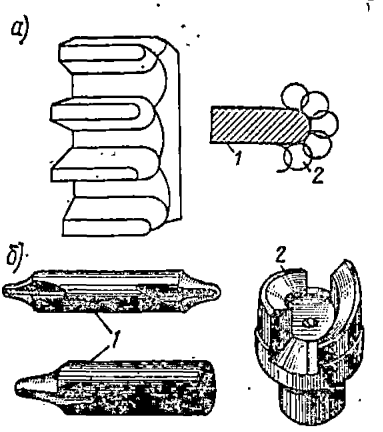


Рис. 229.

Отделка зубчатых колес методом притирки заключается в том, что обрабатываемое зубчатое колесо обкатывают между тремя притирами, оси которых скрещиваются между собой, как показано на рис. 228. Обрабатываемое зубчатое колесо *3*, установленное на шпинделе притирочного станка, находится одновременно в зацеплении с чугунными притирами *1*, *2*, *4*. Оси двух притиров *1* и *4* со спиральными или прямыми зубьями наклонены к обрабатываемому зубчатому колесу *3*. Ось третьего притира *2* параллельна оси обрабатываемого зубчатого колеса; этот притир вращается попеременно в разных направлениях со скоростью 30...60 м/мин для обеспечения равномерной обработки зуба с обеих сторон. Помимо вращения притирам сообщается возвратно-поступательное движение в осевом направлении на длине 25 мм при 60...70 перемещениях в минуту. Скорость вращения обрабатываемого зубчатого колеса 30...60 м/мин.

Давление притиров на поверхность зуба регулируют притормаживанием шпинделей двух притиров. Точность обработки составляет по

---

* Фланкированием называют изменение бокового профиля зуба основной рейки для обеспечения плавного входа сопряженных зубьев колес и зацепление, в связи с чем уменьшается шум в передаче (высота фланкированного участка зуба $\approx 0{,}4\ m$, угол фланкирования 0,5 ... 1°).

** Бочкообразность придают форме зуба одной из пары работающих колес для получения поверхности контакта зубьев в виде вытянутого овала по их средней части (70 ... 80% длины и 60 ... 70% высоты зуба).

длине начальной окружности 0,02 мм, по шагу — 0,01 мм и по профилю — 0,08 мм; достигаемый класс шероховатости поверхности 10-й. Время обработки одного зуба в среднем составляет 3...6 с.

Зубозакругление. В современных машинах часто применяют зубчатые колеса, которые переключают в процессе работы машины без остановки движения (коробки скоростей станков, автомобилей и т. д.). Чтобы устранить удары и выкрашивание кромок при переключении зубчатых колес, зубья закругляют специальными фрезами на зубозакругляющих станках. Профиль закругляемого зуба *1* на зубчатом колесе и траектория движения инструмента *2* при обработке показаны на рис. 229, *а*. На рис. 229, *б* приведены конструкции фрез для закругления зубьев колес: пальцевые фрезы *1* и коронная фреза *2*.

Снятие фасок и удаление заусенцев производятся на станках с абразивными кругами, имеющими профили, соответствующие форме зуба обрабатываемого колеса. Вращение осуществляется путем ввода зубьев в зацепление с витками круга. При больших масштабах производства удаление заусенцев производится на многопозиционных станках стальными щетками.

С зубчатых колес малых размеров заусенцы удаляют с помощью ультразвука. При этом способе кроме удаления заусенцев сглаживаются острые кромки, почти не оказывая воздействия на обработанные поверхности зуба.

Получает распространение способ снятия заусенцев галтовкой в барабане, причем, выбирая соответствующие наполнитель и скорость вращения барабана, достигают хорошей очистки зубьев без искажения их профиля.

Обкатывание незакаленных зубчатых колес производят в масляной среде без абразивного порошка в паре с одним или несколькими закаленными колесами-эталонами, изготовленными с высокой точностью. В результате давления зубьев колес-эталонов на поверхности обрабатываемых зубьев и возникающего при этом наклепа сглаживаются неровности на обрабатываемых поверхностях. Ввиду того что при обкатывании профиль и шаг зуба не исправляются, а в ряде случаев даже происходит искажение профиля и создаются дополнительные внутренние напряжения, увеличивающие искажения профиля при последующей термической обработке, этот способ отделки применим для зубчатых колес, не требующих высокой точности, а также для колес, не подвергающихся термической обработке.

Глава XXVIII
ОБРАБОТКА ШЛИЦЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

§ 84. Виды и назначение шлицевых соединений

Шлицевые соединения применяют для посадок с натягом или зазором деталей различного назначения (зубчатых колес, шкивов, втулок и др.) на валу. По сравнению со шпоночными шлицевые соединения имеют ряд преимуществ: детали на шлицевых валах лучше центрируются и направляются при передвижении вдоль вала; напряжения

смятия на гранях шлицев меньше, чем на поверхностях шпонок; прочность шлицевых валов при динамических и переменных нагрузках выше, чем валов со шпонками. Наиболее распространены шлицевые соединения с прямоугольной прямобочной (рис. 230, *а*), эвольвентной (рис. 230, *б*) и треугольной (рис. 230, *в*) формой шлицев.

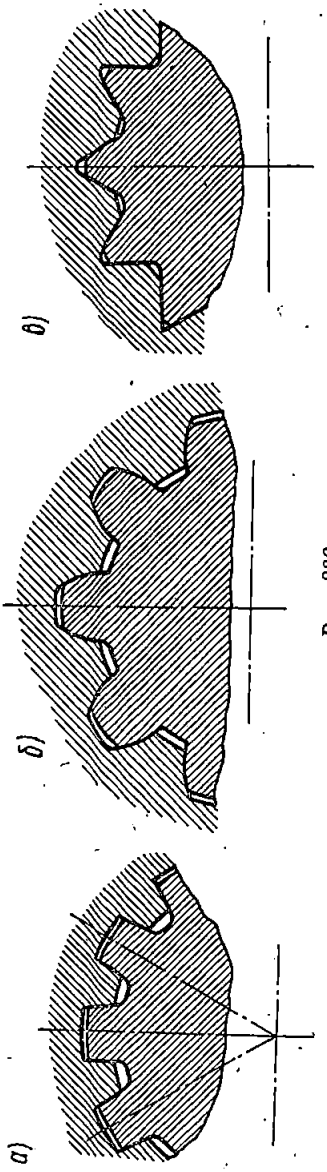


Рис. 230.

В *прямоугольных* шлицевых соединениях* применяют (для изготовления и эксплуатации) три способа центрирования (базирования) шлицевого вала и втулки: по боковым сторонам шлицев; по наружному диаметру шлицев; по внутреннему диаметру шлицев.

Центрирование по боковым сторонам шлицев применяют для соединений с наружным диаметром от 25 до 90 мм в тех случаях, когда точность центрирования втулки не имеет существенного значения и в то же время необходимо обеспечить достаточную прочность соединения в эксплуатации.

В механизмах, где основное внимание уделяется кинематической точности передач, например в механизмах металлорежущих станков, автомобилей, тракторов и др., применяют центрирование по наружному D или внутреннему d диаметру шлицев (рис. 231, *а*).

Выбор наружного или внутреннего диаметра в качестве центрирующего определяется твердостью поверхностей шлицевых пазов и размерами соединения. Если шлицевые пазы отверстия термически не обрабатываются или твердость их поверхностей допускает калибрование протяжкой после термообработки, то применяют центрирование по наружному диаметру. Если твердость поверхностей отверстия не позволяет производить калибрование, то применяют центрирование по внутреннему диаметру. Центрирование по внутреннему диаметру применяют также при обработке длинных валов, подвергающихся термообработке, так как в этом случае возможно одновременное шли-

* В некоторых случаях применяют конические прямоугольные соединения с конусностью 1 : 16.

фование боковых сторон зубьев (выступов) шлицев и внутреннего диаметра вала.

При центрировании по наружному диаметру на углах шлицевых выступов вала (рис. 231, *б*), а при центрировании по внутреннему диаметру в углах шлицевых пазов отверстия делают фаски и скругления. При центрировании по внутреннему диаметру, а также при необходимости обеспечить контакт боковых сторон зубьев вала и пазов отверстия по возможно большей поверхности в углах впадин шлицевого вала делают канавки (рис. 231, *в*).

Шлицевые валы с прямоугольными зубьями обрабатывают специальными профильными фрезами для каждого значения диаметра и числа зубьев.

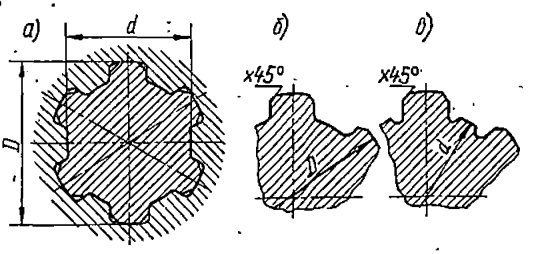


Рис. 231.

Эвольвентное шлицевое соединение используют для передачи значительных крутящих моментов, а также в тех случаях, когда к точности центрирования сопрягаемых элементов предъявляют повышенные требования. Эти соединения обладают повышенной прочностью вследствие постепенного утолщения зубьев от вершины к основанию зуба, а также вследствие уменьшения концентрации напряжений у основания. Кроме того, благодаря применению при обработке шлицев червячной фрезы с прямолинейными режущими кромками обеспечиваются более высокие классы шероховатости поверхности и точности обработки шлицев, исключающие в большинстве случаев последующее шлифование. При эвольвентном профиле шлицев можно допускать отделочные виды обработки, применяемые при зубонарезании: шевингование, шлифование по методу обкатки и др.

Центрирование эвольвентных соединений осуществляют по наружному диаметру, боковым сторонам шлицев и по вспомогательной цилиндрической поверхности (хвостовику). Наиболее часто применяют центрирование по боковым сторонам шлицев.

Треугольные шлицевые соединения используют главным образом для неподвижных соединений при небольших величинах крутящего момента (чтобы избежать применения прессовых посадок), а также для тонкостенных втулок. Центрирование при этом виде шлицевых соединений осуществляют только по боковым сторонам шлицев.

§ 85. Методы обработки элементов шлицевых валов и втулок

Шлицевые поверхности валов обрабатывают на горизонтально-фрезерных станках в делительных приспособлениях (рис. 232, *а*), зубофрезерных станках, специальных шлицефрезерных станках (рис. 232, *б*), а также на шлифовальных станках (рис. 232, *в*, *г*).

В последнее время в крупносерийном и массовом производстве шлицефрезерование вытесняется контурным шлицестроганием, шлицепротягиванием, холодным накатыванием роликами или рейками, а также профильными многороликовыми головками. Это объясняется тем, что применение многозаходных фрез для шлиценарезания ведет к удорожанию стоимости инструмента и не обеспечивает повышенных требований к точности шлицевых поверхностей.

В серийном производстве шлицы на валах обычно фрезеруют в две операции: вначале обрабатывают боковые стороны шлицев двумя дисковыми фрезами одновременно, а затем внутренний диаметр — профильной фрезой. В массовом производстве весь шлицевой профиль (боковых сторон и внутреннего диаметра) фрезеруют червячной фрезой на зубофрезерных или шлицефрезерных станках.

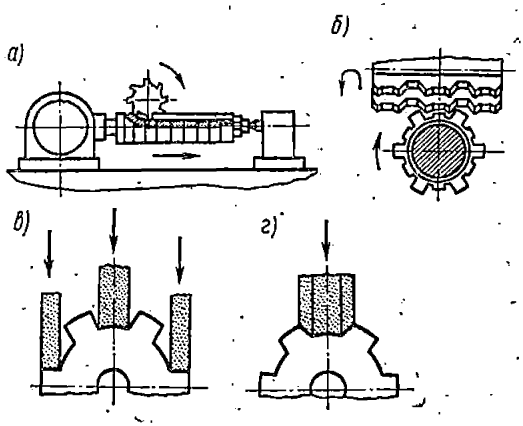


Рис. 232.

На рис. 233 приведен общий вид шлицефрезерного станка. Обрабатываемый шлицевый вал устанавливают на столе *1* между центрами бабок *2* и *3*. Шлицевую фрезу *4* помещают на вертикальном шпинделе; вращается она от общего привода. Наибольшая длина фрезерования 550 мм, наименьшее количество нарезаемых зубьев 4.

Шлицевые валы диаметром до 30 мм обычно фрезеруют за один рабочий ход, валы бо́льших диаметров нарезают за два рабочих хода. Фрезерование червячной фрезой более производительно, чем обработка дисковыми и профильными фрезами на горизонтально-фрезерных станках. Шлицевые валы с короткими шлицами, у которых к шлицевой части близко примыкает буртик или ступень бо́льшего диаметра (т. е. нет выхода для фрезы), обрабатываются на зубодолбежных станках с помощью специального долбяка.

Центровые гнезда шлицевых валов после термической обработки обычно прошлифовывают коническим абразивным инструментом.

Шлифование боковых сторон шлицев и внутреннего диаметра шлицевого вала производят за одну или две операции. В серийном производстве боковые стороны и внутренний диаметр большей частью шлифуют за две операции на обычных плоскошлифовальных станках с прямоугольным столом периферией шлифовального круга: сначала боковые стороны шлицев двумя кругами, затем внутренний диаметр одним профильным кругом (см. рис. 232, *в*). В массовом и крупносерийном производстве боковые стороны и внутренний диаметр шлифуют за одну операцию (см. рис. 232, *г*) на шлицешлифовальных станках.

Припуск на боковую сторону шлица и на внутренний диаметр составляет от 0,1 до 0,2 мм (на сторону).

Шлицестрогание производят многорезцовой головкой, в радиальных пазах корпуса которой размещены профильные резцы. Число резцов и их профиль соответствуют числу шлицев и профилю впадины обрабатываемого вала. Для строгания несквозных шлицев в станке предусмотрен ускоренный отвод резцов на установленную длину обработки. Обработку шлицестроганием производят на станке модели МА4, предназначенном для обработки валов, имеющих длину

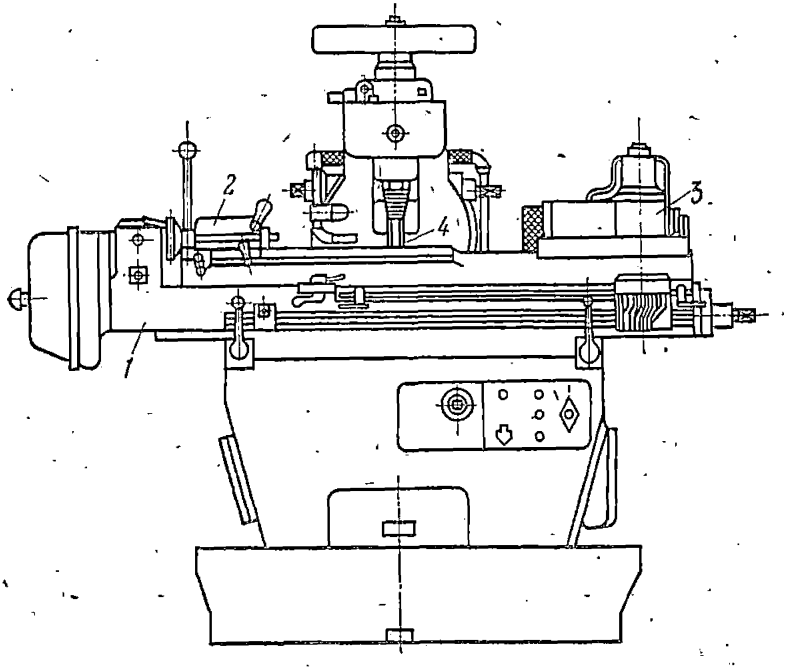


Рис. 233.

обрабатываемой части от 70 до 370 мм и общую длину до 435 мм. Диаметр обрабатываемых валов 20...50 мм. Станок допускает обработку шлицевых впадин как на проход, так и с выходом на поверхность наружного диаметра.

Шлицепротягивание прямоугольных прямобочных шлицев производят двумя блочными протяжками с последующим поворотом (делением) заготовки (рис. 234). Этим методом обрабатывают как сквозные, так и несквозные шлицы, допускающие выход инструмента. Блочные протяжки обеспечивают независимо друг от друга радиальное перемещение каждого зуба протяжки. Копирная линейка позволяет протягивать несквозные шлицы по заданной траектории. Протягивание прямобочных шлицев блочными протяжками производительнее шлицефрезерования в 5...10 раз.

Холодное накатывание шлицев производят роликами, рейками, профильными многороликовыми головками. Валы с накатанными шлицами могут выдерживать более высокие нагрузки (примерно на 40%), чем обработанные резанием. В ряде случаев холодное накатывание шлицев позволяет отказаться от термической обработки шлицевых валов и шлифования шлицев.

Шлицы эвольвентного профиля с модулем до 2,5 мм получают холодным накатыванием двумя или тремя накатными роликами, которые устанавливают по размеру делительной окружности накатываемой детали с учетом упругих деформаций системы.

При накатывании осевое перемещение заготовки принудительно; ролики имеют заборную часть. Заготовка вращается синхронно с накатными роликами и перемещается вдоль оси накатников. Расстояние между накатниками устанавливают заранее и не меняют в процессе накатывания. Обработку заготовки под холодное накатывание роликами выполняют точнее, чем при шлицефрезеровании. Холодной накатке подвергают заготовки твердостью не свыше НВ 220.

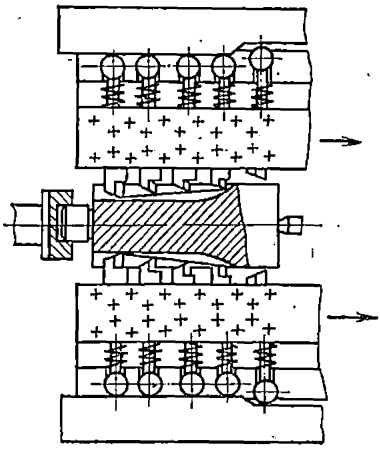


Рис. 234.

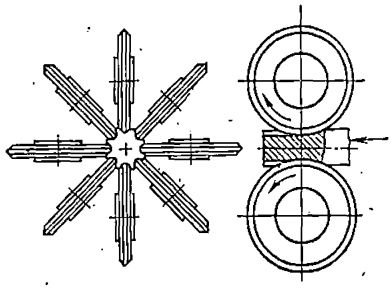


Рис. 235.

Этим методом накатывают валы с большим числом шлицев (свыше 18). Чем больше число шлицев, тем плавнее идет процесс накатывания. При накатывании эвольвентных шлицев двумя-тремя роликами получают точность по шагу в пределах до 0,03 мм. При длине шлицев свыше 250 мм этот метод производительнее шлицефрезерования примерно в 10 раз, при длине шлицев свыше 100 мм — в 4...7 раз.

Холодное накатывание профильной многороликовой головкой производится по схеме, показанной на рис. 235. Этот метод накатывания требует особо точного изготовления многороликовой головки. Инструментальная головка состоит из жесткого закаленного кольца, в котором размещены сегменты (на схеме не показаны), в каждом сегменте установлено по одному профилирующему ролику (на схеме — 8 роликов), свободно вращающемуся на осях в подшипниках. Ролики регулируют и заменяют независимо один от другого. Обрабатываемую заготовку закрепляют в центрах

зажимного устройства, а многороликовая головка перемещается вдоль оси неподвижной обрабатываемой детали на точно установленную длину.

Прямобочные шлицы, полученные этим методом, имеют отклонения по ширине в пределах 0,07...0,08 мм.

При накатывании профильными роликами пластические деформации проникают на большую глубину в обрабатываемую заготовку. Твердость заготовок не должна превышать НВ 220, поэтому в процессе накатки происходит ее удлинение, вытесненный металл частично размещается и на наружной поверхности детали. После накатывания наружный диаметр обработанной детали несколько увеличивается и поэтому она должна быть подвергнута наружному шлифованию.

При накатывании многороликовыми головками поверхностные слои обрабатываемой детали упрочняются на 20...30%; стойкость инструментальной головки составляет до 100 тыс. деталей. Этот метод обработки высокопроизводительный, но каждая многороликовая головка предназначена для обработки только одного размера шлицев.

Многороликовой головкой можно накатывать и эвольвентные шлицы, если их число не превышает 16...18; при большем числе шлицев невозможно разместить ролики в головке.

Шлицевое отверстие втулки предварительно обрабатывают сверлением и зенкованием с подрезкой торца, после чего протягивается круглое отверстие, а затем шлицы. В массовом производстве за счет удлинения протяжки протягивание цилиндрической части и шлицев иногда выполняют одновременно одной протяжкой. После чистовой обработки всех наружных поверхностей или только тех, которые должны быть соосны с шлицевой частью детали, производят термообработку, а затем шлифование внутреннего диаметра шлицевой части. В качестве базы при этой операции применяют цилиндрическую поверхность, которая с наибольшей точностью должна быть соосна со шлицевой частью вала. Внутренний диаметр шлифуют на внутришлифовальных станках.

Шлицевые валы и втулки контролируют посредством шлицевых профильных калибров. В некоторых случаях внутренний диаметр шлицевого вала контролируют микрометром или предельными кольцами с вырезами для шлицев, а соосность внутреннего диаметра и шейки вала — индикатором.

Глава XXIX

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

Причинами травматизма в случае отсутствия или недостаточности предупредительных мер при работе на металлорежущих станках являются: 1) вращающиеся валы, муфты, шпиндели, шкивы, зубчатые колеса, выступающие части станка, зазоры между вращающимися деталями станка, зазоры между любыми подвижными и неподвижными частями и другие детали и сборочные единицы кинематической системы станка, передающие движение от привода к зоне резания; 2) вращающиеся инструменты (сверла, фрезы, абразивные круги и др.), возврат-

но-поступательно движущиеся инструменты (строгальные и долбежные резцы, ножовка и др.), обломки инструмента и установочно-зажимные приспособления при их установке и снятии; 3) движущиеся и неподвижные обрабатываемые заготовки во время установки и съема и в процессе резания, а также стружка и другие отходы при обработке и уборке.

Безопасность работы на станках обеспечивается устройствами, надежно защищающими работающих от травм отлетающими стружками, и ограждением передач движения от электродвигателя (ременные, зубчатые и др.) сплошными металлическими открывающимися укрытиями. Патроны и планшайбы должны иметь замковые приспособления и устройства против самоотвинчивания при реверсировании вращения шпинделя.

Станины станков снабжаются специальными болтами с обозначениями «земля», предназначенными для заземления. Если корпуса электрооборудования станка не имеют надежного металлического соединения с заземленной станиной, то они заземляются самостоятельной шиной. Подвижные участки электропроводки должны находиться в гибких металлических металлорукавах, снабженных уплотнением против проникновения масла и охлаждающих жидкостей.

Так как работа на металлорежущих станках относится к разряду точных зрительных работ, то система освещения станков должна быть комбинированной (общее и местное освещение).

Станки должны быть снабжены светильниками местного освещения, обеспечивающими освещенность рабочих зон (место обработки, лимбы подач, таблицы настройки станка) в соответствии с санитарными нормами. Устройство местного освещения станков должно быть безопасным. С этой целью напряжение сети местного освещения не должно превышать 36 В; подводка электрических проводов к светильнику должна быть скрытой; необходимо, чтобы конструкция светильника исключала перекручивание и перетирание проводов и попадание на них применяющихся при обработке жидкостей (масла, эмульсии и др.).

Скоростное точение, в основе которого лежит квалифицированное использование резцов, оснащенных пластинками твердого сплава (во многих случаях с механическим креплением пластинок), характеризуется относительно высокими скоростями движения частей станка и обрабатываемого изделия, а также отделением от обрабатываемого изделия большого количества стружки.

Устанавливать на станок надо только вполне исправный резец. Перед установкой следует проверить: а) надежность крепления пластины твердого сплава (особенно при механическом ее креплении); б) целостность и правильность заточки пластины твердого сплава. Она не должна иметь зазубрин, трещин, сетки и прижогов. Режущая кромка должна быть доведена. Резец надо устанавливать строго по высоте центров станка. В случае установки резца выше или ниже оси центров или не перпендикулярно и не параллельно оси изделия углы резания не будут соответствовать углам заточки и появится опасность выкрашивания пластины и поломки резца. Для установки резца по оси центров надо пользоваться только специально для этого предназ

наченными подкладками. Во всех случаях резец надо устанавливать с минимальным вылетом из резцедержателя; по условиям безопасности и для получения обработанной поверхности хорошего качества вылет резца из резцедержателя не должен превышать высоту державки резца более чем в полтора раза. Резец надо закреплять надежно, не менее чем двумя болтами резцедержателя.

Обрабатываемое изделие следует надежно закрепить в центрах или в патроне. При обработке деталей в центрах нужно предварительно проверить правильность зацентровки обрабатываемой детали. При применении вращающихся центров заднюю бабку необходимо надежно закрепить на направляющих станины. При обтачивании длинных деталей (осей, валов и т. д.) на высоких скоростях следует применять роликовые люнеты. В кулачковом патроне (без подпора центром задней бабки) закрепляются только весьма короткие ($L \leqslant 2d$) уравновешенные детали. В других случаях пользуются для подпора центром задней бабки. Несоблюдение этих требований может привести к вылету детали в процессе обработки вследствие сгорания центра, отхода задней бабки и т. д.

При скоростном точении пользуются устройствами, защищающими от травм стружкой. Если обрабатывают вязкие металлы (стали и др.), дающие сливную (ленточную) стружку, то применяют резцы с канавками или накладными порогами на передней поверхности, которые дробят или завивают стружку в процессе точения. При обработке хрупких металлов (бронзы, чугуна и др.), дающих мелкую отлетающую стружку, а также при дроблении стальной стружки в процессе точения применяют защитные устройства: индивидуальные щитки, прозрачные быстроустанавливаемые на рабочую позицию экраны или специальные стружкоотводчики.

Для безопасного ведения процесса скоростного фрезерования необходимо при установке фрезы осуществлять проверку на радиальное и торцевое биение; биение на периферии не должно превышать 0,03 мм, а по торцу в зависимости от характера обработки (черновая или чистовая) — не более 0,04...0,08 мм.

Фрезеруемая деталь в приспособлении должна быть надежно закреплена с направлением усилий резания на неподвижные опоры. Деталь следует закреплять возможно ближе к обрабатываемой поверхности. При закреплении детали прижимными планками последние следует располагать горизонтально с применением только специально для этого предназначенных подкладок. Детали с необработанными поверхностями (особенно имеющие литейные и штамповочные уклоны) закрепляют при помощи приспособлений и тисков с насеченными губками.

При использовании пневматических, гидравлических и электромагнитных приспособлений для закрепления деталей необходимо тщательно оберегать от механических повреждений трубки подачи воздуха и жидкости, а также электропроводку. Надо помнить, что при внезапном падении давления в пневмо- или гидросети или при внезапном перерыве в питании током изделие открепляется и, если станок не снабжен соответствующими автоблокировками, обрабатываемая

деталь может вылететь из приспособления. На станках современных конструкций безопасность применения пневматических, гидравлических и электромагнитных зажимных приспособлений обеспечивается введением соответствующих автоблокировок или ограничителей.

При скоростном фрезеровании необходимо пользоваться устройствами для защиты от отлетающей стружки и предупреждения рассеивания ее по рабочему месту. В зависимости от направления полета стружки и степени ее рассеивания надо применять индивидуальные средства защиты (очки, индивидуальные щитки), прозрачные экраны, препятствующие рассеиванию стружки, или специальные стружкоотводчики, улавливающие и отводящие стружку в стружкосборник.

При работе на шлифовальных станках особое внимание должно быть уделено правильности установки и крепления шлифовального круга, выбору режима резания и соблюдению условий безопасности работы.

Продолжительность службы шлифовального круга зависит от его уравновешенности, поэтому для точной и спокойной работы шлифовальный круг должен подвергаться балансировке (уравновешиванию). Причинами неуравновешенности шлифовальных кругов являются: неодинаковая плотность материала, неправильная форма наружной поверхности, эксцентричное расположение отверстия по отношению к наружной поверхности круга и эксцентричное расположение круга на шпинделе или фланцах. Сбалансированным шлифовальным кругом следует считать такой круг, у которого центр тяжести совпадает с геометрическим центром оси вращения.

Балансируют шлифовальные круги на специальных установках, которые отличаются друг от друга характером опор для установки оправки. Опорами могут быть призмы, диски, цилиндрические валики и т. д.

Обязательной балансировке подлежат все шлифовальные круги диаметром от 100 мм и выше. Шлифовальные круги диаметром 150 мм и выше, предназначенные для работы со скоростью резания более 10 м/с, помимо внешнего осмотра и простукивания должны быть испытаны на специальных испытательных стендах или специальных станках, предназначенных для этой цели, при частоте вращения, превышающей указанную в маркировке круга на 50%. Продолжительность вращения круга при испытательной скорости должна составлять: для кругов с наружным диаметром до 475 мм — 5 мин, 500 мм и более — 7 мин.

Испытательный стенд должен постепенно и плавно увеличивать скорость до требуемой для испытания соответствующего круга. Одновременно он должен быть снабжен стационарным тахометром для контроля частоты вращения круга.

Круги, выдержавшие испытания, записывают в специальную книгу по особой форме и на самом круге делают соответствующую пометку (краской или специальным ярлыком) — указывают порядковый номер круга по книге испытаний, ответственное лицо за испытание и дату испытания.

Способы крепления кругов при установке должны обеспечивать надежность закрепления круга на шпинделе; в круге не должно создаваться внутренних напряжений, для чего между фланцами и кругом с обеих сторон ставят прокладки из эластичного материала (плотной бумаги, картона, резины и т. д.) толщиной от 0,5 до 3 мм в зависимости от диаметра круга. Прокладки должны перекрывать всю зажимную поверхность фланцев и выступать наружу по всей окружности. Необходимо, чтобы поверхности соприкосновения фланцев, прокладок и шлифовального круга были совершенно чистыми, а зажимная поверхность фланца была шириной не менее 1/16 диаметра круга. Отверстие в круге должно быть больше диаметра шпинделя на 0,2...0,4 мм.

Шлифовальные круги во время работы должны быть ограждены защитными кожухами, которые изготовляют из стали или ковкого чугуна и прочно прикрепляют к станкам. При большой частоте вращения круга толщина стенок кожуха увеличивается по расчету. Зазор между кругом и цилиндрической поверхностью защитного кожуха должен быть в пределах от 20 до 30 мм, а зазор между кругом и боковой стенкой кожуха 10...15 мм. Угол раскрытия защитного кожуха может колебаться от 60 до 180°.

Столы плоскошлифовальных станков и магнитные плиты должны иметь ограждения на случай отлетания деталей.

Глава XXX
ОСОБЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

В современном машиностроении наряду с обработкой металлов резанием, сопровождающимся снятием стружки, применяют ряд особых методов обработки без снятия стружки*. Применение этих методов повышает производительность и точность обработки, качество и прочностные свойства поверхностей. Эти методы можно подразделить на методы обработки металлов давлением в холодном состоянии и электрические методы обработки.

§ 86. Обработка металла давлением в холодном состоянии

К способам обработки металла давлением относятся: калибровка отверстий шариком и оправкой; раскатка; обработка поверхностей гладкими роликами; выдавливание; накатывание рифлений; накатывание зубчатых колес; наклепывание поверхностей шариками; дробеструйный наклеп.

Калибровка шариком и оправкой. Калибровке подвергают гладкие цилиндрические отверстия, а также отверстия с фасонным поперечным сечением. Короткие отверстия калибруют на прессах, проталкивая гладкую оправку или шарик через обрабатываемое отверстие с натягом. При калибровке возникает пластическая деформация металла, в результате которой незначительно увеличивается диаметр обрабатываемого отверстия, а также повышаются ка-

* Здесь не рассматриваются обычные кузнечные и штамповочные работы.

чество и твердость поверхности. Длинные отверстия калибруют протягиванием калибрующей оправки через обрабатываемое отверстие на протяжном станке.

Если обрабатываемой заготовке или калибрующей оправке придать дополнительное вращательное движение, то можно калибровать участки отверстия, расположенные по винтовой линии. Несквозные отверстия калибруют оправкой, которая совершает возвратно-поступательное движение. На рис. 236 приведены схемы калибровки отверстий: а) проталкиванием шарика; *б*) и *в*) проталкиванием оправки; *г*) протягиванием оправки; *д*) протягиванием оправки с возвратно - поступательным движением..

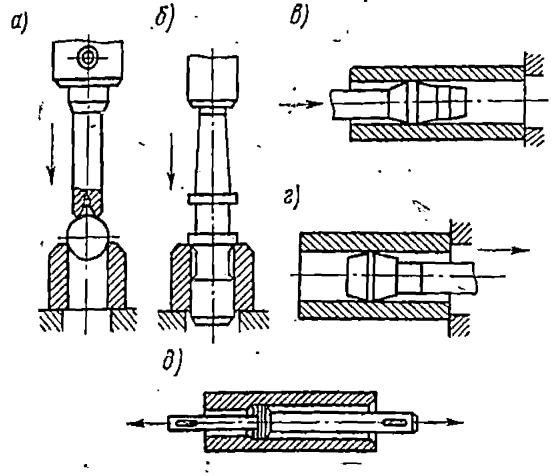


Рис. 236.

Калибровка повышает точность обработки на 30...35%, а также исправляет погрешности формы. Точность обработки может быть также повышена за счет двух- или трехкратной калибровки с распределением натяга между каждым переходом.

Качество калибровки во многом зависит от состояния калибруемой поверхности, так как этот вид обработки связан с пластической деформацией поверхностных неровностей, а не с их удалением. Поэтому чтобы достигнуть хороших результатов, отверстие под калибровку следует обрабатывать растачиванием или развертыванием. В этом случае отверстия могут быть доведены калибровкой до 2а, 2-го и даже 1-го классов точности.

Применяемые для калибровки стальные шарики обладают тем преимуществом перед оправками, что срок их использования более продолжителен, так как они имеют практически бесконечное число калибрующих поясков. Кроме того, смещение точки приложения проталкивающей силы не вызывает перекоса. Область применения шариков ограничивается их стандартными размерами.

Калибрующие оправки изготовляют цельными или сборными с поясками любых размеров.

Для повышения износостойкости калибрующий инструмент подвергают хромированию или азотированию; применяют также наплавку калибрующих поверхностей твердым сплавом.

Формообразование деталей методом обжатия или вытягивания заготовок является прогрессивным методом обработки, обеспечивающим по сравнению с обработкой точением и шлифованием увеличение производительности в 5...6 раз со

значительной экономией металла и повышением механических свойств обработанного поверхностного слоя благодаря наклепу и созданию напряжений сжатия. Этот метод обеспечивает высокую точность обработки (2-й класс) и шероховатость поверхности 8...10-го классов.

Принцип формообразования наружных поверхностей заключается в последовательном обжатии заготовки. Заготовка по мере продвижения вдоль оси деформируется под действием сжимающих сил вращающихся матриц. При этом происходит «течение» металла заготовки в направлении ее движения до тех пор, пока заготовка не будет обжата до размера, соответствующего наименьшему диаметру желоба матриц.

На рис. 237 показан процесс обжатия цилиндрического прутка. Шпиндель *5* головки, вращающийся с определенной скоростью, имеет диаметральный паз прямоугольного сечения, по которому к центру и от центра свободно перемещаются бойки с матрицами *3*. По-

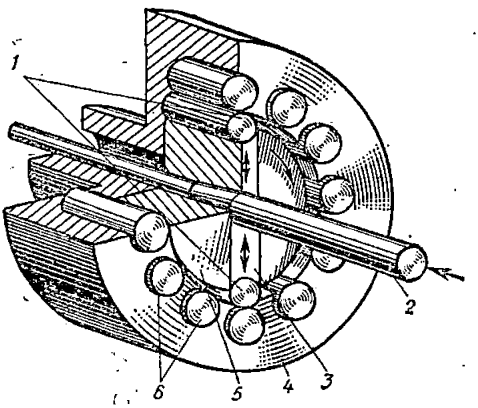


Рис. 237.

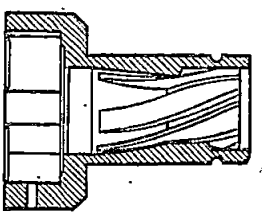


Рис. 238.

следние, соприкасаясь во время работы своими рабочими поверхностями с металлом прутка *2*, придают заготовке требуемую форму, обжимая и вытягивая ее. На внешних торцах бойков установлены опорные ролики *1*. Шпиндель *5* расположен внутри обоймы *4*, в отверстиях которой по окружности свободно установлены ролики *6* таким образом, что их боковые поверхности частично выступают из обоймы. При вращении шпинделя с бойками и матрицами последние под действием центробежной силы отходят от центра к периферии в тот момент, когда ролики *1* находятся в пространстве между роликами *6*, и сходятся к центру, когда ролики *1* наталкиваются на ролики *6*. При этом матрицы своими рабочими поверхностями приходят в соприкосновение с металлом заготовки, пластически деформируя его: заготовка обжимается и вытягивается.

Принцип раскатки внутренних поверхностей может быть рассмотрен на примере обработки внутренней поверхности корпуса муфты стартера. На внутренней поверхности этой детали имеются участок с эвольвентными спиральными шлицами, участок с калиброванным отверстием для посадки подшипника и участок с четырьмя профильными впадинами (рис. 238). Обработка этой поверхности обычными

методами потребовала бы ряда протяжных операций, шлифования и полирования.

Метод обработки раскаткой состоит в том, что внутрь полой заготовки вводят оправку соответствующей формы, после чего заготовку обжимают с помощью быстро вибрирующих профильных кулачков.

Станок состоит из вращающейся головки, в которой размещены четыре перемещающихся в радиальных направлениях суппорта. Суппорты снабжены криволинейными поверхностями, которыми они при вращении головки перекатываются по роликам, получая тем самым возвратно-поступательное радиальное перемещение. Головка вращается, делая 200 об/мин. Сжимающая сила, создаваемая головкой,

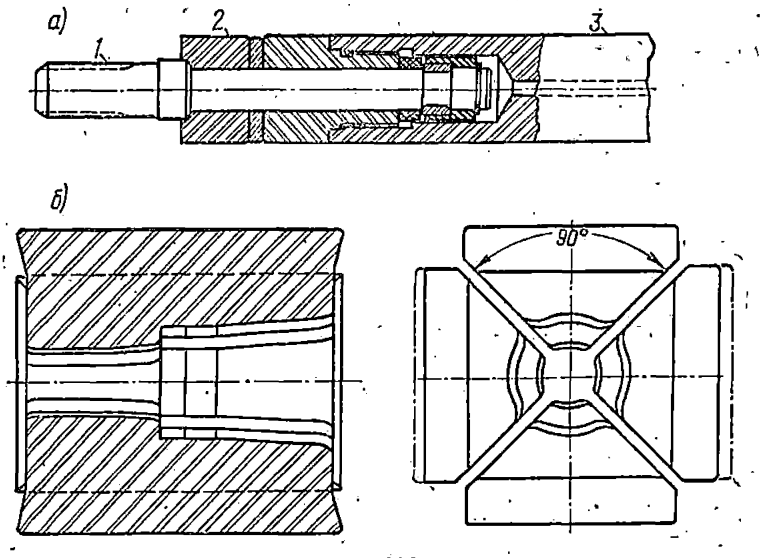


Рис. 239.

составляет 200 тс; общее число сжатий заготовки 1500 в минуту. Заготовку (пруток) перед раскаткой обтачивают по наружной поверхности с подрезкой торцов.

На рис. 239, *а* показан общий вид и разрез составной оправки для раскатки корпуса муфты, показанного на рис. 238. Так как внутренняя поверхность обрабатываемой заготовки имеет эвольвентные спиральные шлицы, оправка состоит из двух частей, свободно вращающихся одна относительно другой, что обеспечивает возможность съема заготовки с оправки после раскатки. Внутренняя (рабочая) оправка *1* имеет конусность 0,1 : 300, а внешняя *2* — 17,5 : 300.

Рабочие кулачки (рис. 239, *б*) имеют хорошо отполированную рабочую поверхность с конфигурацией, соответствующей форме обрабатываемой заготовки.

Раскатку производят в следующем порядке. Толкатель *3* с оправкой перемещается вперед до упора, принимая на оправку заготовку из загрузочного лотка. Оправка с заготовкой, медленно вращаясь, пере-

мещается в рабочее положение и подается до упора. Во время формообразования внутренней поверхности кулачки, перемещаясь, увлекают заготовку с оправкой, которая вращается со скоростью, меньшей скорости вращения головки. По окончании обработки толкатель с готовой деталью отводят; деталь снимают с оправки и сбрасывают в приемный лоток.

Обработка поверхностей гладкими роликами. Сущность этого вида обработки заключается в том, что вращающиеся ролики, прижимаясь к обрабатываемой поверхности под давлением, сминают неровности и создают наклепанный слой, повышающий эксплуатационные свойства обрабатываемой поверхности. Схемы обработки поверхностей роликами могут быть самыми различными. Выбор той или иной схемы зависит от формы поверхности,

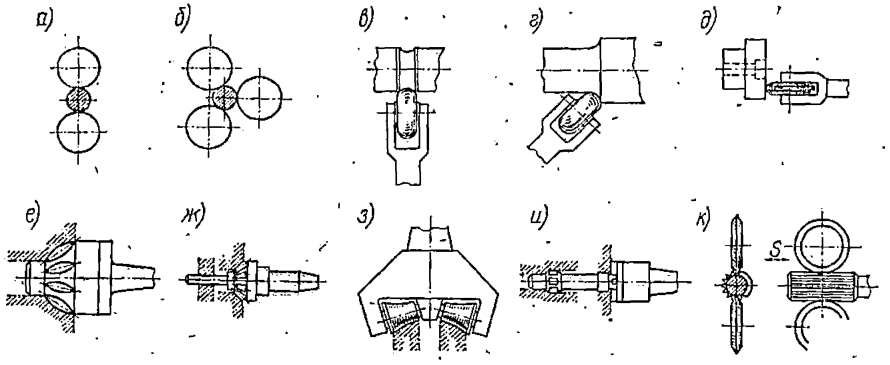


Рис. 240.

жесткости обрабатываемой заготовки и технологического назначения обработки.

При обкатывании роликами наружных цилиндрических поверхностей диаметр их уменьшается, а при раскатывании отверстий — увеличивается. Поверхности жестких деталей обрабатывают односторонними роликовыми оправками (с одним роликом), а менее жестких — многороликовыми устройствами, которые уравновешивают действующие силы давления.

На рис. 240 приведены различные схемы обработки поверхностей роликами: *а*) и *б*) многороликовое обкатывание цилиндрических поверхностей; *в*) и *г*) обкатывание канавки и галтели; *д*) обкатывание торцевой поверхности; *е*) и *ж*) многороликовое раскатывание сферической и конической поверхностей; *з*) обкатывание наружной сферической поверхности; *и*) раскатывание отверстия; *к*) обкатывание дна шлицев. Обкатывание роликами производится после чистового точения; при обработке незакаленных поверхностей обкатывание роликами заменяет шлифование.

Обработку роликами обычно выполняют на универсальных станках. Так, например, обкатывание наружных цилиндрических поверхностей

осуществляют на токарных, револьверных и карусельных станках, а раскатывание отверстий, кроме указанных, также на сверлильных и горизонтально-расточных станках; плоские поверхности обкатывают на поперечно-строгальных станках.

Основное условие получения заданной точности и шероховатости обрабатываемой поверхности — создание соответствующего давления на ролик и применение для его изготовления износостойкого материала с высокой твердостью. Так, при ширине рабочей части ролика 3 мм и диаметре ролика не более 100 мм давление на ролик колеблется в зависимости от обрабатываемого материала от 50 до 200 кгс. Достижимый класс шероховатости поверхности при обкатывании 7...9-й, а точность обработки — 3-й и 2-й классы. В качестве материала для роликов рекомендуются инструментальные углеродистые стали, закаленные до твердости HRC 58...65, и легированные стали ХВГ, 5ХНМ и др.

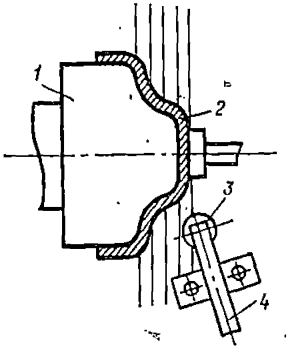


Рис. 241.

Ролик обычно закрепляют в резцедержателе станка или в оправке шпинделя станка и приводят во вращение. Благодаря силе трения, возникающей между роликом и обрабатываемой заготовкой, поверхность заготовки обкатывается до требуемого качества. Выбор конструктивных форм роликов зависит от технологического назначения и особенностей обрабатываемой поверхности. Так, ролики с цилиндрическим пояском применяют для обкатывания заготовок со свободным выходом по длине; ролики с закрытым радиусом — для галтелей; комбинированные формы роликов — для цилиндрических и торцевых поверхностей и т. п.

Для поддержания заданного давления процесс обкатывания регулируют и контролируют с помощью специальных тарированных пружин или гидравлических устройств. Основное технологическое время при обкатывании роликом определяется так же, как и при точении. Подача выбирается в пределах 0,1...0,2 мм/об.

В ы д а в л и в а н и е. При изготовлении из листового металла пустотелых деталей — тел вращения выпукло-вогнутой конфигурации, узких горловин на цилиндрических заготовках и пр., для которых экономически нецелесообразно изготовление специальных вытяжных штампов, применяют метод обработки выдавливанием.

Этот метод применяют при вращательном движении заготовки, а в ряде случаев и деформирующего инструмента как на обычных (приспособленных) токарных станках, так и на станках, специализированных для этого вида обработки.

На рис. 241 показана схеме выдавливания простым давильником с шаровой головкой (*1* — патрон; *2* — заготовка; *3* — шаровая головка; *4* — рукоятка давильника), а на рис. 242 приведены различные виды давильных работ: *а*) наружное выдавливание по контуру дисковым роликом; *б*) выпуклое выдавливание изнутри роликом *1* по контуру

наружного ролик-патрона *2*; *в*) вогнутое выдавливание горловины роликом *1* по контуру внутреннего ролик-патрона *2*.

При выдавливании на давильных станках металл заготовки утоняется и наклепывается сильнее, чем при вытяжке на прессах, поэтому детали, выдавливаемые за несколько операций, обычно подвергают промежуточному отжигу.

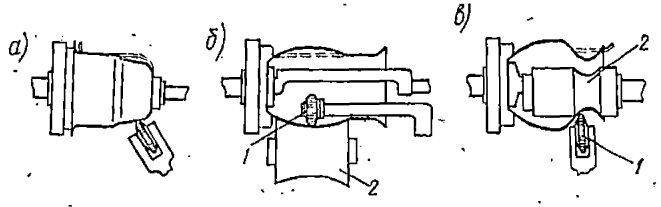


Рис. 242.

Поверхность выдавливаемых деталей часто имеет следы давильника и соответствует 6-му классу шероховатости поверхности. Для получения более высокого класса по окончании выдавливания поверхность обработанной поверхности проходят давильником-шабером, снимающим тонкую стружку толщиной 0,05...1,0 мм.

Точность выдавливания деталей обычно находится в пределах 0,001... 0,002 их диаметра.

Накатывание рифлений. Для образования на поверхностях цилиндрических деталей рифлений применяют метод накатывания плоскими плашками (на разьбонакатных станках) или вращающимися цилиндрическими роликами (на токарных и револьверных станках).

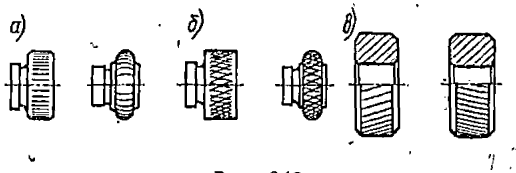


Рис. 243.

Плоские поверхности накатывают на поперечно-строгальных, долбежных и горизонтально-фрезерных станках свободно вращающимися роликами принудительной подачей заготовки.

Накатывание рифлений может быть прямым, угловым и сетчатым. Выбор конструкции накатного инструмента зависит от технологического назначения и заданной формы поверхности. Прямое и угловое накатывание обычно выполняют одним, а сетчатое — двумя роликами одновременным встречным накатыванием под углом.

На рис. 243 приведены виды накаток — прямых (*а*), сетчатых (*б*) угловых (*в*) правого и левого рифлений. В процессе накатывания рифлений обычно происходит увеличение диаметра обрабатываемой поверхности; необходимая глубина накатывания получается в результате нескольких последовательных рабочих ходов, число которых зависит от свойств обрабатываемого материала, заданного шага и глубины рифлений.

Накатывание зубчатых колес. Одним из производительных методов обработки зубчатых колес является накатывание зубьев в холодном состоянии. Этот метод обработки позволяет повысить производительность в 15...20 раз по сравнению с обычными методами нарезания зубчатых колес и обеспечивает качество поверхностей зуба как в отношении микрогеометрии, так и износостойкости.

Основным условием обработки зубчатых колес накатыванием в холодном состоянии является достаточная пластичность металла заготовки. Этому условию удовлетворяют алюминиевые и медные сплавы (за исключением бронз некоторых марок), а также некоторые марки нержавеющей стали при соответствующей предварительной термической обработке.

В процессе накатывания зубьев поверхностные слои металла сильно наклепываются, причем наклеп распространяется на значительную

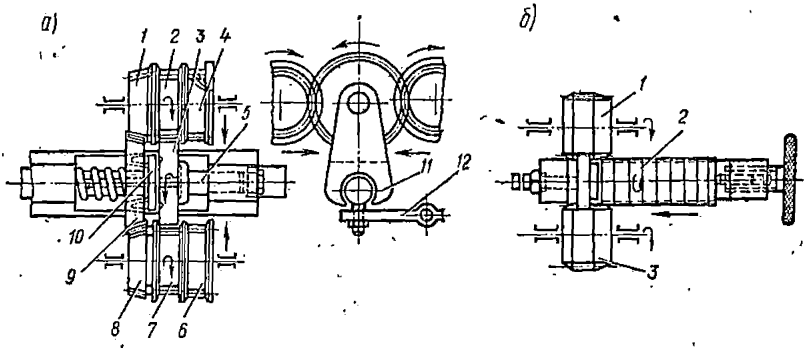


Рис. 244.

глубину. Для предотвращения износа зубонакатного инструмента — зубчатых валков, а также возможного перенапряжения поверхностных слоев металла заготовки целесообразно между операциями накатывания выполнять промежуточную термообработку заготовки — отжиг.

В технологии производства применяют несколько схем накатывания зубчатых колес: 1) одним валком; 2) двумя валками без заборной части; 3) двумя валками с заборной частью; 4) тремя валками и 5) двумя рейками. Выбор схемы накатывания в значительной степени зависит от длины образующей обрабатываемого зуба. Практикой установлено, что накатывание зубчатых колес небольшой ширины отдельными заготовками целесообразно осуществлять валками без заборной части (рис. 244, *а*), а зубчатых колес большой ширины или собранных в пакет на оправку нескольких заготовок — двумя валками с заборной частью (рис. 244, *б*).

В первом случае заготовку *3* устанавливают центровым отверстием на штыри оправки *5* и поводка *10*, которые закреплены в стойке *1* центрирующего приспособления. Центрирующее приспособление устанавливают на основании *12* таким образом, что в процессе накатывания зуба происходит качание и самоустанавливание заготовки относительно зубчатых валков. Предварительное накатывание производят зуб

чатыми валками *2* и *7*, а окончательное — калибрующими валками *4* и *6*, принудительно вращающимися в одном и том же направлении. При сближении зубчатых валков в радиальном направлении в результате пластической деформации металла вращающейся заготовки впадины зубьев валков постепенно заполняются металлом заготовки и образуются зубья на заготовке. На заданное число зубьев заготовку делят принудительно с помощью делительных зубчатых колес *1* и *8* (ведущих) и *9* (ведомого). Ведущие зубчатые колеса жестко закреплены на шпинделях зубчатых валков, а ведомое зубчатое колесо находится на одном валу с поводком *10* центрирующего устройства и соединено с ним штырями.

Во втором случае (рис. 244, *б*) заготовку *2* (или собранные в пакет на оправку несколько заготовок) закрепляют в центровочном приспособлении так же, как при накатывании зуба валками без заборной части. Валки *1* и *3* с заборной частью и обратным конусом, установленные на определенном расстоянии друг от друга, обкатывают заготовку, перемещающуюся вдоль зубчатых валков. Заборная часть обеспечивает постепенное проникновение зубчатых валков в металл заготовки и заполнение впадин зубьев валков металлом без изменения их межосевого расстояния. Делительное зубчатое колесо, находящееся в зацеплении с зубчатыми валками, сообщает принудительное вращение заготовке совместно с зубчатыми валками.

Инструментом для накатывания зубчатых колес являются зубчатые валки, с обеих сторон которых надевают ограничительные реборды (диски), препятствующие вытеснению валками металла в осевом направлении и образованию облоя. Головка зуба валка образует ножку, а ножка зуба валка — головку зуба зубчатого колеса, что обусловливает размеры элементов зуба валков: головку зуба принимают равной 1,2 модуля, а ножку — равной модулю.

В СССР первые опыты по накатыванию зубчатых колес относятся к 1860 г., но тогда они не были реализованы ввиду низкого уровня техники. Затем различного рода схемы технологического процесса накатывания зубчатых колес были предложены различными учеными и инженерами-исследователями. В 1944 г. в лаборатории Уральского политехнического института В. С. Смирновым были впервые проведены опыты накатывания зубчатых колес. В 1946 г. С. В. Воробьев получил первую партию зубчатых колес с модулем до 1 мм. В 1952 г. на заводе «Красный металлист» был пущен в эксплуатацию стан для накатывания зубчатых колес диаметром до 200 мм модулем 3 мм. В настоящее время на автомобильном заводе имени Лихачева, Харьковском и Челябинском тракторных заводах и других используют станы для накатывания зубчатых колес с модулем до 5 и 10 мм (диаметром до 600 мм). На этих станах ввиду большой массы металла накатываемых заготовок применяют кольцевой высокочастотный индуктор для нагрева заготовки до температуры прокатки.

Мелкомодульные зубчатые колеса можно накатывать на обычных токарно-винторезных станках путем применения специального устройства с тремя неприводными зубчатыми валками, расположенными под углом 120° друг к другу. Этот метод обеспечивает накатывание зубчатых колес с точностью зацепления по 7-й степени и с классами шероховатости поверхности 7...10-м.

Наклепывание поверхностей шариками. Для повышения твердости и качества поверхности заготовки применяют

метод наклепывания шариками. Сущность этого метода заключается в том, что обрабатываемую поверхность подвергают многократным, следующим один за другим, ударам шариками. Для этого шарики помещают в гнезда диска, вращающегося с большой скоростью, в которых шарики под действием центробежной силы смещаются на определенную величину в радиальном направлении и через отверстия на периферии диска наносят удары по обрабатываемой поверхности. На рис. 245 приведена схема процесса наклепывания шариками наружных (*а*) и внутренних (*б*) поверхностей вала и отверстия.

Наклепывание шариками можно применять также для плоских поверхностей, а при использовании копира — и для обработки фасонных поверхностей. Этот процесс обычно осуществляют при скорости вращения диска до 25 м/с и обрабатываемой заготовки — до 90 м/мин. Для этого вида обработки применяют шлифовальные станки или приспособления, устанавливаемые на токарно-винторезном станке.

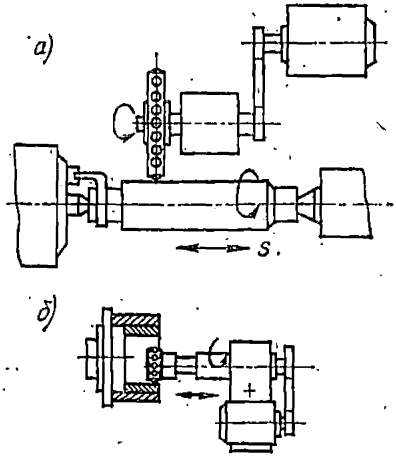


Рис. 245.

Твердость наклепанного слоя и качество обработанной поверхности зависят от силы и числа ударов шариков приходящихся на 1 мм², а также от исходной твердости обрабатываемого металла. Эти параметры в свою очередь зависят от скорости вращения диска (~25 м/с) и обрабатываемой заготовки (~30... 90 м/мин), а также от расстояния принудительного отталкивания шариков (от 0,5 до 0,8 мм), размеров шарика (⌀ 7... 10 мм) и др.

Поверхностная твердость наклепанного слоя повышается при этом на 15... 60%, однако чем выше исходная твердость материала, тем меньше эффект наклепа. Так, например, поверхностная твердость заготовки из стали 45 увеличивается на 17%, а из стали 25 — на 45%.

Выбор режима обработки поверхности шариками имеет существенное значение. Неправильно выбранный режим может привести к возникновению в поверхностном слое чрезмерно больших напряжений, а при обработке чугуна — даже к разрушению этого слоя. Для работы шарики обычно смазывают смесью веретенного масла с керосином, а обрабатываемую поверхность — керосином.

Дробеструйное наклепывание. Для повышения прочности деталей, работающих в условиях ударной нагрузки, предупреждения их растрескивания при работе в коррозионных средах, а также для повышения маслоудерживающих свойств обработанной поверхности применяют дробеструйное наклепывание. Сущность этого процесса заключается в том, что обработанную заготовку подвергают многочисленным ударам дробинок из чугуна, стали, алюминия или стекла. Чугунную или стальную дробь применяют для наклепывани

стальных изделий, а алюминиевую или стеклянную — для наклепывания изделий, изготовленных из цветных сплавов. Глубина наклепа обычно не превышает 1 мм. Толщина наклепанного слоя возрастает с увеличением диаметра дроби и ее скорости и падает с увеличением твердости обрабатываемой заготовки. Твердость в результате наклепа несколько повышается. Так, у заготовок из стали 20 — на 40%, а из стали 45 — на 20%. Достижимый класс шероховатости поверхности 8... 9-й. Эффективность дробеструйного наклепывания зависит от размера дроби (0,4...2 мм), скорости ее движения (60...100 м/с), угла между направлением полета дроби и плоскостью, проходящей через ось обрабатываемой поверхности, и продолжительности наклепывания (устанавливается экспериментально).

Для выполнения этой операции применяют специальное оборудование, состоящее из рабочей камеры и дробеструйного устройства.

Наибольшее распространение получили механические и пневматические дробеструйные устройства. Механическая установка состоит из рабочей камеры, снабженной механизмами для перемещения обрабатываемой заготовки под струей дроби, и дробеструйного устройства в виде быстровращающегося ротора, снабженного лопатками, разбрасывающими дробь. В пневматической дробеструйной установке дробь выбрасывается сжатым воздухом под давлением 5...6 кгс/см^2 из нескольких форсунок. Кроме этих основных рабочих органов дробеструйная установка снабжена различными (транспортирующим, очистным и специальным пылеулавливающим) устройствами, а также вентиляцией.

§ 87. Электрическая обработка

В современном машиностроении применяют ряд методов электрической обработки заготовок. Основными из них являются следующие: электрохимический, электротермический, электроискровой, электрогидравлический, ультразвуковой и электронно- и светолучевой.

Электрохимический метод обработки (электрохимическое полирование металлов и анодно-химическая обработка) основан на явлениях, связанных с прохождением электрического тока через растворы электролитов.

Этот метод обработки позволяет очищать поверхности обрабатываемых материалов от окислов, ржавчины, жировых пленок и других загрязнений, а также сглаживать, доводить, шлифовать и полировать поверхности заготовки.

В процессе электрохимического полирования при анодном растворении металла, т. е. при переходе в раствор металла с поверхности электрода (анода), соединенного с положительным источником тока, на поверхности полируемой заготовки образуется вязкая пленка солей, защищающая микровпадины полируемой поверхности от действия тока, но не препятствующая растворению выступов. Интенсивность съема металла составляет 3... 10 мкм/мин, длительность процесса зависит от заданного съема: для черных и цветных металлов 4...10 мин, для легких сплавов 3...5 мин. Достижимая точность обработки в пре-

делах 2... 3-го классов; шероховатость поверхности в пределах 6... 12-го классов.

Если на режущей кромке инструмента создать повышенную плотность тока и этим самым усилить процесс растворения этого участка, то возможно электрохимическое затачивание режущего инструмента.

На рис. 246 схематически показано прошивание отверстия электрохимическим методом. Если между торцом латунной трубки *4* (катода) и поверхностью обрабатываемой заготовки *1* (анода) создать местную электролизную ванну *3*, то можно осуществить анодное растворение участка, ограниченного трубкой, т. е. произвести электрохимическое прошивание отверстия *7* (*2* — прижим, *5* — подвод электролита, *6* — возврат электролита). Прошивание протекает при большой интенсивности съема металла с производительностью 500... 2000 мкм/мин и обеспечивает шероховатость поверхности в пределах 5... 7-го классов.

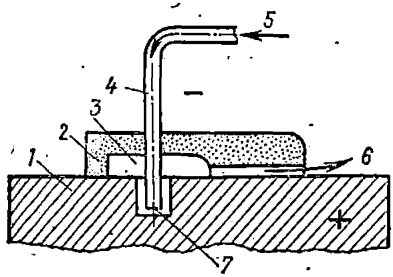


Рис. 246.

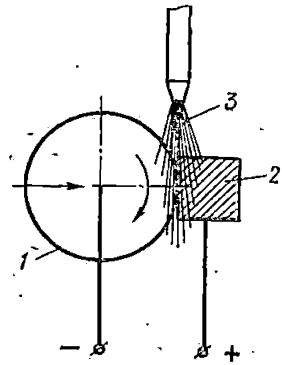


Рис. 247.

По этому же принципу, изменяя форму и размер катодной трубки, можно получать отверстия различных форм и размеров.

Анодно-механическая обработка основана на растворении поверхности анода с образованием пленок, которые удаляют механическим путем — путем движения металлического катода. На этом принципе, например, построена анодно-механическая резка металла (рис. 247). При движении катода *1* (диска или ленты), соприкасающегося под давлением через образующуюся пленку с поверхностью разрезаемого металла (анода) *2*, происходит направленное разрушение металла в результате совместного действия электрохимического и электротермического тока *3*, проходящего между разрезаемым материалом и диском в среде водного раствора жидкого стекла. При разрезании интенсивность съема металла составляет 2000...6000 мм^3/мин; точность обработки по 4-му классу и шероховатость поверхности в пределах 2...4-го классов.

При анодно-механическом долблении направленное разрушение металла осуществляется также под действием электрохимического и электротермического тока, причем катодом является инструмент, представляющий негативную форму обрабатываемой поверхности, а анодом — обрабатываемый металл. При этом методе обработки съем

металла составляет 50... 250 мм³/мин; точность обработки 2... 4-го классов и шероховатость поверхности 4... 6-го классов.

Анодно-механической обработкой можно выполнять также отделочное и притирочное шлифование. В этом случае процесс заключается в механическом удалении пленок, образующихся на поверхности обрабатываемой заготовки (анода) при прохождении тока между его поверхностью и пластинкой (катодом), помещенной в электролите. Инструмент, удаляющий пленку, является электронейтральным. Интенсивность съема металла составляет 2...6 мм³/мин, точность обработки 1...2-го классов и шероховатость поверхности 9...11-го классов.

Электротермический метод обработки основан на свойстве электрического тока выделять тепло при прохождении по замкнутой цепи. Так как степень тепловыделения пропорциональна сопротивлению цепи, то на участках сопротивления может быть достигнута высокая температура. В местах контакта электрический ток может разогревать, размягчать и даже плавить металл.

Используя этот принцип, можно сглаживать поверхность, удалять металл, наносить его на поверхность, прошивать отверстия, прорезать пазы, а также затачивать режущий инструмент. Для регулирования хода процесса можно применять искусственное охлаждение или изменять скорость перемещения инструмента.

Этим же методом можно производить наплавку, нанося слой металла на заготовку путем плавления электродной проволоки теплом, выделяющимся при контакте электрода с заготовкой.

Электроискровой метод обработки основан на разрушении металла в результате импульсного разряда между поверхностями обрабатываемой заготовки и электрода. Так как преимущественно разрушается анод (обрабатываемый металл), то по форме и размерам разрушенный участок соответствует катоду (электроду). Это свойство успешно используют для выполнения отверстий, диаметр которых составляет доли миллиметра, а также для резки металла, прорезки узких пазов, фигурной резки, формообразования режущих кромок, гравирования и других подобных операций. Отверстия обычно обрабатывают в масляной или керосиновой среде, а упрочнение инструмента и деталей производят в воздушной среде.

На рис. 248 приведена схема установки для электроискрового прошивания отверстий. Импульсы электрического разряда, возникающие между торцом электрода *3* и поверхностью заготовки *1*, разрушают металл заготовки, образуя отверстие, соответствующее форме электрода. Малые отверстия прошивают при обязательной вибрации электрода или заготовки для удаления образующихся отходов. Направление инструмента (электрода) определяет кондуктор *4*, изготовленный из материала, не проводящего ток. Обработку осуществляют в жидком диэлектрике или в специально обработанной воде *2* при питании от источника тока *5*.

Поверхности сложной формы обрабатывают этим методом с точностью по 3... 5-му классам и шероховатостью поверхности по 3... 6-му классам. Производительность обработки отверстий диаметром 0,15 мм на глубину 3 мм составляет 1,5 мин.

Электрогидравлический метод обработки в последнее время в промышленности получил большое распространение. Он основан на возбуждении импульсного высоковольтного разряда в среде жидкости. В результате этих импульсов возникают сверхвысокие давления жидкости также в виде импульсов, при фокусировании которых на заданный участок поверхности производится обработка. Мощность и длительность импульсов определяются параметрами электрической схемы. Этот метод применяют для наклепа поверхностей металлических заготовок, прошивания отверстий в неметаллических хрупких материалах и т. п.

Ультразвуковой метод применяют в настоящее время для обработки твердых и хрупких материалов (например, стекла, рубина, алмаза, керамики, карбида вольфрама и др.), с большим трудом обрабатываемых обычными методами.

Использование ультразвуковых колебаний для обработки твердых и хрупких материалов основано на создании высокой скорости изна-

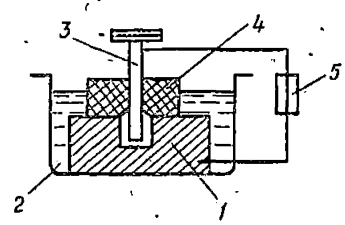


Рис. 248.

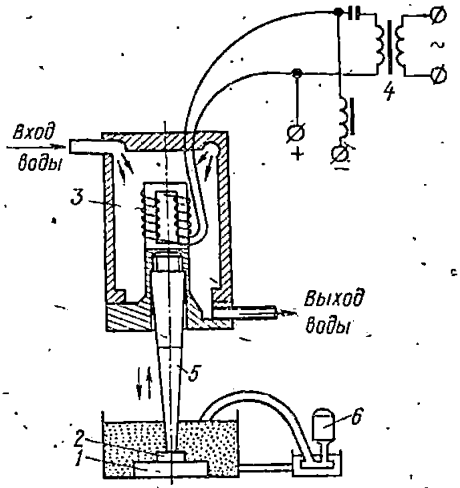


Рис. 249.

шивания обрабатываемого материала при контакте вибрирующего инструмента и абразивов (в виде пасты, водной или масляной суспензии) с местом обработки. Инструмент изготовляют преимущественно из пластичного металла, в который абразивные частицы внедряются без его существенного износа. Таким образом, стержень инструмента (вибратор) служит только для направления, а резание производят абразивным материалом. Чтобы создать надлежащий контакт, вибратор прижимают к головке. Однако чрезмерное давление его на заготовку приводит к затуханию колебаний, в результате чего скорость резания уменьшается.

На рис. 249 приведена схема ультразвуковой обработки. Инструмент *2* совершает продольные колебания с частотой 16 000...25 000 Гц и амплитудой 0,02...0,06 мм. Его изготовляют из конструкционной стали, и по профилю он соответствует форме обрабатывающего отверстия.

В зону обработки, т. е. в зазор между колеблющимися с ультразвуковой частотой рабочим торцом инструмента *2* и заготовкой *1*,

с помощью насоса *6* подают абразивный порошок, взвешенный в воде (в качестве абразива, как правило, применяют карбид бора). Источником колебаний инструмента является магнитострикционный вибратор *3*, в котором электрические колебания мощного электронного генератора *4* преобразуются в механические. Магнитострикционная деформация торца вибратора небольшая: 5...10 мкм. Для увеличения амплитуды в 2...5 раз применяют трансформаторы скорости или акустические концентраторы *5*. К узкому сечению концентратора крепят инструмент. В процессе обработки инструмент должен непрерывно перемещаться по направлению к заготовке. При обработке глухих отверстий инструмент необходимо периодически поднимать для заполнения полости свежим абразивом и удаления продуктов резания.

При обработке заготовок из электропроводящих материалов предварительную обработку для снятия большей части материала целесообразно производить электроискровым методом, а чистовую обработку для получения шероховатости поверхности 6...7-го классов — ультразвуковым методом.

Производительность ультразвуковой обработки зависит от свойств обрабатываемого материала, амплитуды и частоты колебаний инструмента, вида и зернистости абразивного материала, размеров обрабатываемой площади, конфигурации обрабатываемой поверхности и величины давления (статического) между инструментом и заготовкой.

Существующие модели ультразвуковых станков позволяют обрабатывать отверстия диаметром от 0;15 до 90 мм при максимальной глубине обработки 2...5 диаметров с точностью обработки для твердых сплавов 0,01 мм.

Ультразвуковой метод может быть применен при изготовлении твердосплавных штампов, для чеканки рельефов (например, медалей); в этом случае вибрирующий инструмент должен иметь рельеф детали.

Метод обработки электронным лучом (электронная бомбардировка). Практика применения электронного микроскопа позволила установить возможность использования энергии концентрированного электронного луча для обработки твердых материалов методом расплавления. В безвоздушной камере образуется электронный луч с частотой от 1 до 3000 Гц и временем импульсов от 0,01 до 0,00005 с, при скорости электронов порядка 115 000... 165 000 км/с, с температурой в зоне обработки около 6000° С. Время обработки зависит от количества удаляемого металла и его термических и химических свойств; механические свойства металла на время обработки влияния не оказывают.

Электроннолучевая установка состоит из источника питания, вакуумной аппаратуры, блока программного управления и электронно-оптической трубки. Для образования эмиссии электронов и электронного луча служит источник питания, который осуществляет накал катода. Вакуумная аппаратура, состоящая из механического и диффузионного масляного насосов, создает глубокий вакуум, без которого обработка материалов этим способом невозможна. Блок программного управления служит для автоматизации обработки электронным лучом.

В электронно-оптической трубке (рис. 250) находятся источник электронного луча *1* — так называемая электронная пушка, импульсный генератор *2*, электромагнитное регулирующее устройство *3*, магнитно-фокусирующая линза *4* и электромагнитное отклоняющее

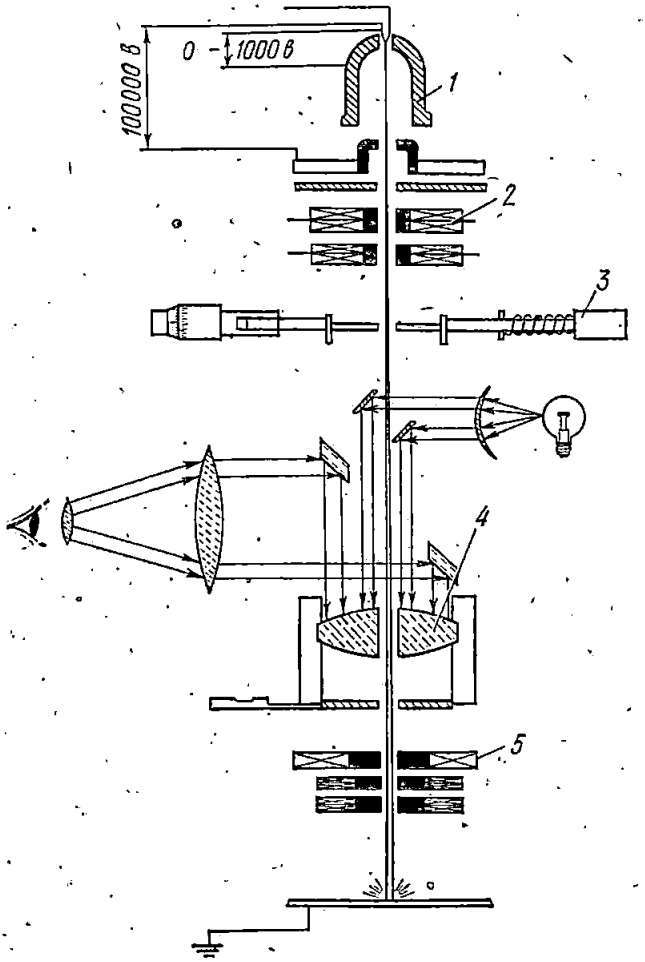


Рис. 250.

устройство *5*. Импульсный генератор *2* обеспечивает в целях ограничения зоны нагревания прерывность электронного луча, а электромагнитное регулирующее устройство *3* стабилизирует его.

Магнитно-фокусирующая линза *4* предназначена для фокусирования луча до диаметра $< 0{,}5$ и даже 0,01 мм посредством бесступенчатого регулирования фокусного расстояния, а электромагнитное отклоняющее устройство *5* — для перемещения электронного луча по обрабатываемой поверхности.

Производительность обработки электронным лучом значительно выше, чем при прочих методах обработки; так, для обработки паза шириной 0,005 мм и длиной 3 мм в пластинке из стали толщиной 0,5 мм необходимо 29... 30 с. Стальные листы толщиной до 1 мм режут электронным лучом со скоростью 1200 мм/мин.

Электронным лучом в настоящее время обрабатывают отверстия диаметром до 0,001 мм в изделиях точного приборостроения, а также фрезеруют сложные профили.

Электронный луч применяют для очистки поверхностей деталей, изготовленных из таких материалов, как тантал, молибден, цирконий, ниобий, титан и вольфрам, а также для сварки некоторых сплавов.

Метод обработки световым лучом. Этот метод основан на использовании электромагнитных колебаний светового диапазона, получаемых с помощью квантовооптических генераторов (лазеров).

Этими электромагнитными колебаниями можно управлять, их можно фокусировать в очень тонкие пучки, измеряемые единицами угловых минут ($\sim 30'$), с высокой когерентностью, т. е. с колебаниями в излучаемом свете практически одной фазы и частоты. Направленный когерентный световой луч обладает огромной световой и тепловой энергией.

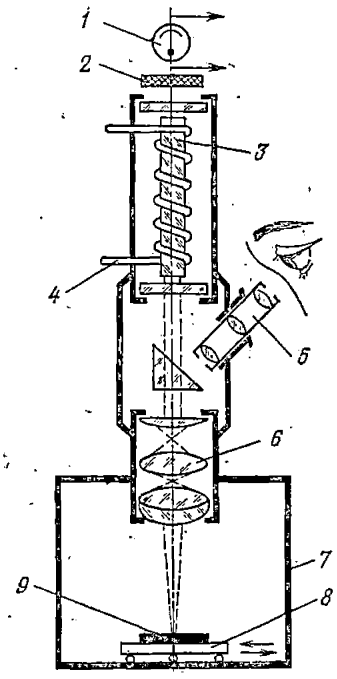


Рис. 251.

На рис. 251 приведена схема обработки лучом лазера с квантовооптическим генератором на рубине. Основные элементы этого генератора: *3* — рубиновый стержень и *4* — лампа накачки; *1* — фотоэлемент для регулирования световой энергии; *2* — фильтр; *5*, *6* — оптическая система; *7* — рабочая камера; *8* — механизм подач; *9* — обрабатываемая деталь. Рубиновый стержень представляет собой кристалл корунда (окись алюминия), где часть атомов алюминия (около 0,05%) заменена атомами хрома.

Торцы рубинового стержня шлифуют и полируют так, чтобы они были плоскопараллельными, и серебрят. Когда свет, возбуждаемый лампой накачки, проходит вдоль стержня, он попеременно отражается от зеркальных торцов. Генерирование световых колебаний производится разрядами конденсаторной батареи на лампу накачки. При этом свет достигает большой интенсивности, определяемой также числом возбужденных атомов хрома. Для вывода светового луча одно из зеркал делается частично прозрачным. Исходящий из оптического генератора луч обладает большой направленностью, его можно далее сфокусировать до диаметра, не превышающего 0,01 мм. При этом точка, в которую

направлен световой луч, разогревается до десятков тысяч градусов и материал испаряется. Возможности применения рассматриваемого метода весьма многообразны. В качестве примера можно привести «сверление» отверстий диаметром 0,01...0,3 мм в материале толщиной 0,1...5 мм при шероховатости поверхности 5...6-го классов за время менее 20 с. Данный метод позволяет прошивать отверстия и щели в любом материале (алмаз, рубин, тантал и др.). Мощный световой луч можно использовать также для сварки на расстоянии в труднодоступных местах машин и приборов, для пайки и сварки тонких деталей современных микроэлектронных изделий и т. д.

§ 88. Балансировка и подгонка деталей машин

Б а л а н с и р о в к а. Вследствие неоднородности материала детали, погрешностей заготовки (при черных необрабатываемых поверхностях) и механической обработки, а также погрешностей сборки (в результате перекоса или смещения сопряженных деталей) появляется *неуравновешенность* деталей и сборочных единиц машины. Различают три вида неуравновешенности: 1) *статическую* — при смещении

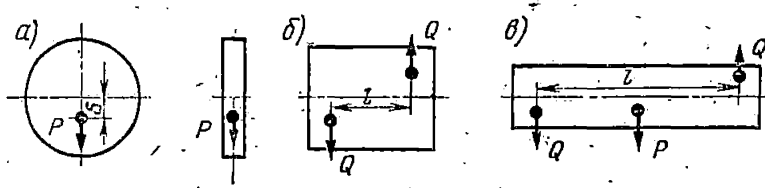


Рис. 252.

центра тяжести детали (сила P) относительно оси ее вращения на величину r (рис. 252, *а*); 2) *динамическую* — при действии неуравновешенных масс металла, приведенных к паре сил Q, действующих в одной плоскости в противоположных направлениях, с плечом l (рис. 252, *б*); 3) *смешанную*, при которой может быть одновременное смещение центра тяжести детали относительно оси ее вращения и действие неуравновешенных масс (рис. 252, *в*). Первый вид неуравновешенности характерен для деталей небольшой длины l при значительном диаметре d, когда $l/d < 1$, а второй и третий — при отношении $l/d \geq 1$.

Для устранения неуравновешенности применяют балансировку, которая заключается в нахождении величины и направления неуравновешенности и компенсации этой неуравновешенности путем снятия или добавления металла в соответствующем месте детали. После балансировки не допускаются никакие виды обработки детали (за исключением в некоторых случаях полирования или суперфиниширования отдельных поверхностей).

Балансировка вращающихся деталей является ответственной технологической операцией, так как неуравновешенные массы в современных быстроходных конструкциях могут привести к вибрациям, нарушающим нормальную эксплуатацию механизма или машины.

Статическая балансировка производится следующим образом (рис. 253, *а*): балансируемую деталь *1*, надетую на специальную оправку *2*, устанавливают на две горизонтальные параллельные призмы *3*.

Неуравновешенность детали выявляют, прокатывая ее по указанным призмам. При совпадении центра тяжести детали с ее осью деталь будет неподвижна в любом своем угловом положении на призмах. В случае неуравновешенности «тяжелая» сторона *А* детали (рис. 253, *б*) будет стремиться занять наиболее низкое положение. Закрепляя груз Q_1 на противоположной стороне детали, можно уравновесить деталь. Вместо прикрепления груза с «легкой» стороны детали можно применять ее высверливание с более «тяжелой» стороны. Количество массы Q_1 металла, которое нужно снять с более тяжелой стороны на расстоянии r_1 от оси вращения, может быть определено по формуле

$$Q_1 = Qr_1/r_2,$$

где Q — масса детали, г; r_1 — величина смещения центра тяжести, см; r_2 — радиус детали, см.

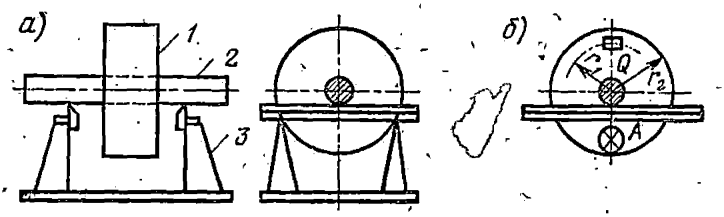


Рис. 253.

При статической балансировке иногда вместо призм применяют шлифованные стержни (при балансировке деталей с небольшой массой) или шарики (при балансировке маховиков).

Динамическую балансировку производят при вращении балансируемой детали. При такой балансировке обеспечивается совпадение оси вращения детали с главной осью инерции всей системы. Динамическая неуравновешенность вызывается неправильным распределением массы металла по длине детали. Если в детали имеются две точки сосредоточения неуравновешенных масс, расположенные по обе стороны оси вращения (рис. 254, *а*), то центробежные силы создают пару сил Q_1 с моментом

$$M = (Q_1/g)\, r_1\omega^2 l_1,$$

где g — ускорение силы тяжести, м/с^2; ω — скорость вращения, рад/с; l_1 — расстояние между точками сосредоточения неуравновешенных масс, см; r_1 — смещение неуравновешенных масс относительно оси вращения, см.

При этом центр тяжести детали находится на оси вращения и неуравновешенность при статической балансировке не обнаруживается.

Для уравновешивания детали следует приложить на радиусе r_2 два равных груза Q в определенной осевой плоскости детали на расстоя-

нии l_2; тогда центробежные силы грузов Q должны создать уравновешивающий момент

$$M_1 = (Q/g)\, r_2 \omega^2 l_2,$$

где Q — масса груза, г; r_2 — радиус детали, см; l_2 — длина детали, см.

При динамической балансировке определяют величину и положение грузов, которые нужно приложить к детали или отнять от нее, чтобы деталь оказалась уравновешенной статически и динамически. Динами-

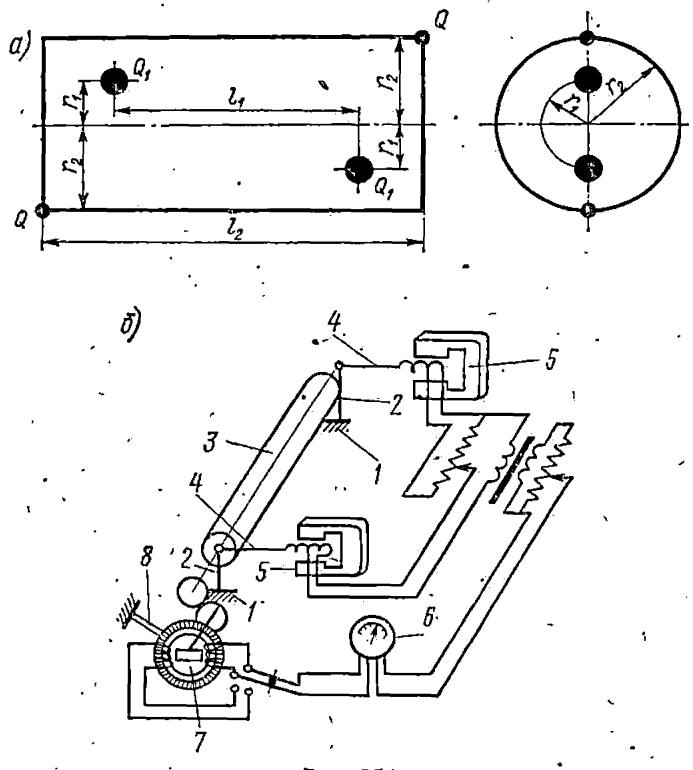


Рис. 254.

ческая балансировка производится всегда при вращении детали, установленной на гибких опорах.

Центробежные силы и моменты инерции, вызванные вращением неуравновешенной детали, создают колебательные движения гибких опор. С помощью специальных устройств колебания уравновешиваются и определяются величина и направление дисбаланса.

На рис. 254, *б* приведена схема электрической машины для динамической балансировки. Из схемы видно, что гибкие опоры *1* балансируемой детали *3* опираются на плоские пружины *2*, которые посредством тяг *4* передают колебания опор с точностью до 1 мкм электрическим устройством *5* (катушкам, расположенным в магнитном поле

постоянных магнитов), возбуждая в цепи ток с напряжением, пропорциональным амплитуде колебаний опор. После усиления ток от этих электрических устройств подводится к ваттметру *6*, градуированному в единицах дисбаланса.

Другая обмотка ваттметра *6* получает ток от генератора *7* переменного тока, ротор которого вращается синхронно с балансируемой де-

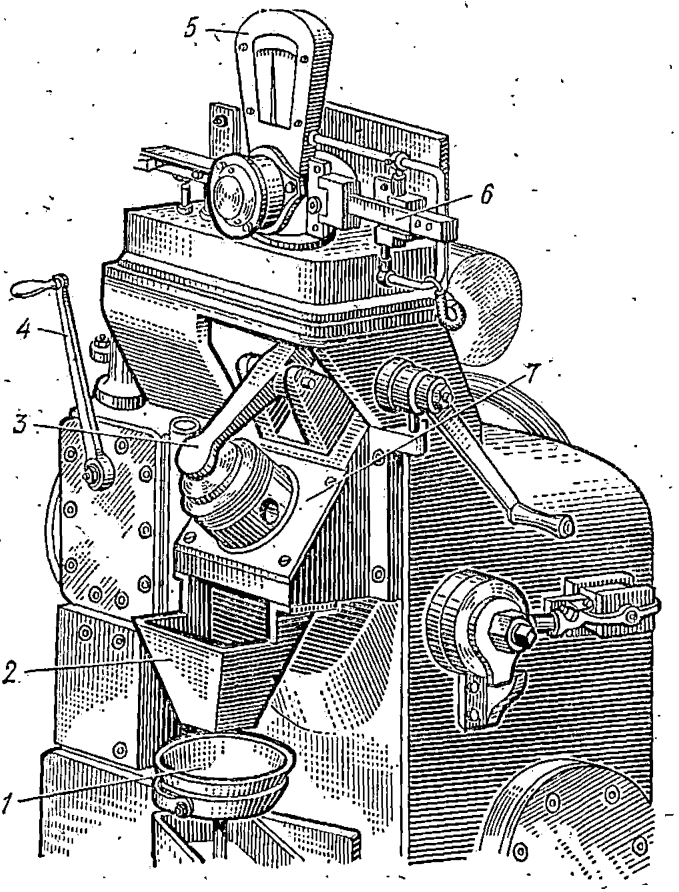


Рис. 255.

талью. Градуированный статор генератора можно поворачивать с помощью рукоятки *8* во время вращения детали, при этом положение дисбаланса может быть определено на лимбе (на схеме не показан) по углу поворота обмотки статора или при максимальном отклонении стрелки ваттметра. Продолжительность балансировки на этой машине составляет 1... 2 мин.

Современные электрические машины для динамической балансировки в значительной степени автоматизированы, в частности, по

шкалам приборов можно определить глубину сверления определенного диаметра, массу неуравновешенного груза, размеры контргрузов и др., а также места крепления грузов или места удаления лишнего металла.

Подгонка по массе. Для взаимного уравновешивания сил инерции деталей машин, движущихся прямолинейно-возвратно, и для создания равенства масс этих деталей в узлах машины применяют подгонку масс. Наиболее характерными из числа деталей, подгоняемых по массе, являются поршни, шатуны, штоки и др. Так, колебания в массе поршней вызывают неуравновешенность двигателей; эти колебания чаще всего создают необработанные внутренние поверхности поршней.

Подгонку по массе обычно производят растачиванием внутреннего пояска «юбки» поршня, а у облегченных конструкций поршней — удалением металла с нижней плоскости и приливов у бобышек под палец (алюминиевые поршни), а также растачиванием специального прилива на внутренней стороне юбки поршня, ниже бобышек под палец.

Подгонку по массе осуществляют на специальных станках (рис. 255). Поршень, базируемый по наружной поверхности юбки, устанавливают в приспособление 7, расположенное на станке под углом 45°, и поворотом эксцентрика посредством рукоятки *4* закрепляют поршень рычагом *3*. Затем снизу к поршню подводят резцовую головку, растачивающую пояс юбки или специальные приливы.

Удаляемый металл в виде стружки падает через воронку *2* в чашку *1* на ее отъемное дно, имеющее рычажную связь с коромыслом весов *5*, установленных в верхней части станка. Последством весов определяют излишек массы поршня. Затем ползунок (груз) коромыслом *6* перемещают на соответствующее деление и вновь включают подачу резцовой головки. Когда излишний металл будет удален, то чашка с правым концом коромысла опускается и подача резцовой головки выключается.

В современном машиностроении применяют станки для подгонки по массе с автоматическим передвижением ползуна (груза) по коромыслу весов посредством электронной системы.

Применение станка для подгонки по массе обеспечивает точность обработки по массе в пределах ± 2 г.

§ 89. Особенности и методы обработки деталей из жаропрочных материалов и термостойких пластмасс

В современных машинах значительный удельный вес занимает применение для изготовления ряда деталей жаропрочных и нержавеющих материалов и термостойких пластмасс. Это обусловлено расширением производства машин, работающих при высоких нагрузках, давлениях, скоростях и температурах, а также в химически активных средах. Обработка деталей из жаропрочных и нержавеющих сталей и сплавов и ряда пластмасс обычным методом крайне затруднена и в ряде случаев невозможна, тем более что по мере прогресса техники не-

прерывно повышаются эксплуатационные характеристики этих материалов, а именно: прочность, твердость, ударная вязкость, жаропрочность, коррозионная стойкость.

Обрабатываемость материалов, т. е. способность их поддаваться обработке, определяется комплексом их физических и технологических свойств. Наиболее часто обрабатываемость определяют интенсивностью износа инструмента, характеризуемого допускаемой скоростью резания, величинами возникающей силы резания и температуры и качеством обработанной поверхности.

Основная часть работы резания при обработке жаропрочных и нержавеющих сталей и сплавов расходуется на пластическую деформацию и лишь незначительная часть непосредственно на разрушение. Очевидно, что одним из основных направлений интенсификации процессов обработки деталей из этих материалов является изыскание условий для снижения объема пластических деформаций. Это предопределило создание качественно новых способов обработки в направлении изменения характера приложения механического воздействия на срезаемый слой, использование химических и электрических процессов, а также применение комбинированных методов обработки, основанных на совмещении механического, теплового, химического и электрического воздействий.

К способам обработки, основанным *на изменении характера механического воздействия* на срезаемый слой, относятся вибрационное резание, сверхскоростное резание и ультразвуковая обработка; к способам, основанным *на термохимическом воздействии*, относятся обработка с предварительным нагревом заготовок, с непрерывным предварительным нагревом срезаемого слоя в процессе резания ТВЧ; к способам, основанным *на одновременном механическом и химическом воздействии*, относятся обработка в специальных средах смазочно-охлаждающих жидкостей с различным подводом их в зону резания, например в виде воздушной эмульсии (распылением), под давлением пенистой жидкости, жидкой углекислоты, в газовых средах (сероводород, хлор, кислород и др.), в твердых средах (смазки из графита, талька и дисульфид молибдена) и др., а также обработка в растворах солей металлов (например, шлифование с погружением притира в раствор медного купороса); к способам обработки, основанным *на электрическом воздействии*, относятся электроэрозионная, анодно-механическая, электрохимическая, электроконтактная и комбинированная обработка, например химико-механическая обработка с наложением обычного и вибрационного резания и др.

Жаропрочные материалы имеют значительное количество легирующих элементов (в том числе титан и марганец), склонность к свариванию (адгезии) с режущим инструментом, незначительное изменение прочности при нагреве до температуры 800° С, высокий предел прочности на сдвиг (в 2...3 раза выше по сравнению с конструкционной углеродистой сталью), сочетание высокого предела прочности с большой вязкостью, способность к сильному упрочнению (наклепу) и низкую теплопроводность. Все это способствует возникновению больших сил резания, высокой температуры, интенсивного износа режущего

инструмента. При этом качество обрабатываемой поверхности остается низким.

Вследствие этого инструмент для обработки жаропрочных материалов должен быть очень тщательно заточен и доведен, кроме того, значения геометрических элементов режущей части инструмента должны быть соответственно изменены.

Рассмотрим способы обработки с механическим воздействием на срезаемый слой, в частности способ вибрационного резания, заключающийся в том, что на обычную принятую схему обработки накладывается дополнительное вибрационное движение инструмента относительно обрабатываемой заготовки. Выбор принципиальной схемы вибрационного резания зависит от его технологического назначения. При применении этого способа обработки как средства стружкодробления можно использовать механические, пневматические и гидравлические вибраторы с частотой вынужденных колебаний не более

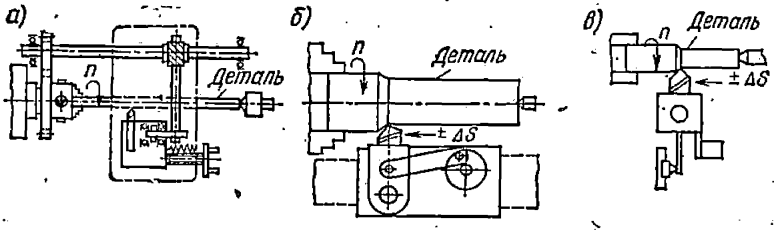


Рис. 256.

50 Гц, а для улучшения условий обрабатываемости — с более высокой частотой задаваемых колебаний; в этом случае используются магнитострикционные, магнитомеханические, электрические и электрогидравлические вибраторы.

На рис. 256, *а* приведена схема механического вибросуппорта, где колебательное движение резца в направлении подачи осуществляется от шпинделя станка через систему зубчатых колес, а на рис. 256, *б* — от электропривода через эксцентрик.

При неизменных условиях обработки (равномерность припуска, постоянство режимов резания и т. д.) для получения вибрации резца можно использовать колебания, вызываемые собственно процессом резания (автоколебания). На рис. 256, *в* приведена схема такой конструкции, где отсутствует специальный привод возмущения колебаний.

Наиболее целесообразными являются колебания в направлении подачи и в тангенциальном направлении, причем в первом случае достигается надежное дробление стружки, а во втором — существенное улучшение обрабатываемости.

Вибрационный метод резания с осевыми колебаниями при применении обычных твердосплавных резцов обеспечивает шероховатость поверхности 3...4-го классов, а при использовании резцов типа Колесова — 5...6-го классов. Этот же метод может быть применен при сверлении обычных и глубоких отверстий, причем в этом случае достигается

и улучшение обрабатываемости за счет измельчения стружки с удобной для удаления формой.

Вибрационный метод резания с тангенциальными колебаниями обеспечивает улучшение обрабатываемости не только при точении, но и при развертывании, нарезании резьб и шлифовании, а также при разрезке материала (вибропилы, виброножницы) с высоким качеством резки.

Дальнейшим развитием этого метода является замена синусоидального вибрационного движения ударно-импульсным, обеспечивающим высокие скорости и ускорения. Так, ударно-импульсный метод обработки применяется при нарезании и калибровке глухих резьб, при этом наряду с повышением стойкости метчиков в 3...3,5 раза значительно повышается и производительность, так как нарезание полного профиля резьбы может быть осуществлено одним метчиком вместо обычно применяемых двух-трех.

На рис. 257 приведен общий вид патрона для ударно-импульсной обработки резьб. Патрон состоит из корпуса *1* с крышкой *2*, в котором установлено два бойка *4*, качающихся на осях *3*, и ведомой втулки-шпинделя *5* с закрепленным в ней с помощью патрона *6* инструментом.

Кулачковое зацепление бойков с поводками втулки взаимодействует таким образом, что в начальный момент бойки ударяют по поводкам, протаскивая их и затем освобождая, при этом приобретенная при ударе энергия втулки переходит в работу резания.

После удара боек под действием силы, направленной во внешнюю сторону от оси вращения, соскакивает с кулачка и обходит его, а затем вновь разворачивается в положение, при котором может быть нанесен удар последующему кулачку. Таким образом, каждый боек за один оборот шпинделя наносит два удара по поводкам ведомой втулки. Поводок шпинделя *5* при холостом вращении находится между бойками: при положении к метчику, закрепленному в патроне *6*, момента резания шпиндель *5* раздвигает бойки *4* и после выхода из зацепления происходит удар.

Вибрационное резание с использованием ультразвуковых колебаний, т. е. колебаний с частотой, равной или выше 16...20 кГц, применяют при механической обработке деталей из жаропрочных сталей и сплавов, когда выполнение операций осуществляется с небольшими усилиями. Обработка ультразвуковыми колебаниями приводит к ликвидации нароста, снижению сил резания и наклепа обработанной поверхности, а также к повышению качества поверхности. Применение этого метода целесообразно только при использовании инструмента из быстрорежущей стали и абразива.

Обработка резанием с нагревом заготовки производится непосредственно на станке в процессе резания с применением токов высокой частоты или электрической дуги, а также с предварительным нагревом заготовки в печи с последующей ее установкой на станок. Нагрев заготовки способствует снижению ее механических свойств, определяющих сопротивление материала заготовки пластическим деформациям. Однако нагрев заготовки оказывает влияние на

износ инструмента, поэтому применение нагрева в процессе резания улучшает обрабатываемость в тех случаях, когда стойкость инструмента вследствие снижения удельной работы резания будет больше, чем отрицательное воздействие температуры на увеличение износа. Установлено, что температурный интервал при обработке резанием с нагревом заготовок следует принимать на 35...40° С ниже температурного интервала для отжига и старения. Величина температуры нагрева зависит от скорости резания v и подачи s, так как при их увеличении повышается количество тепла, вызванного процессом

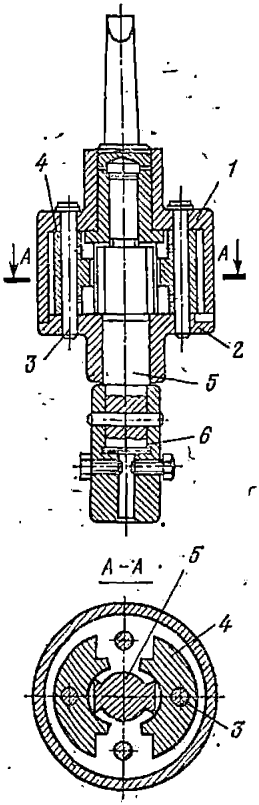


Рис. 257.

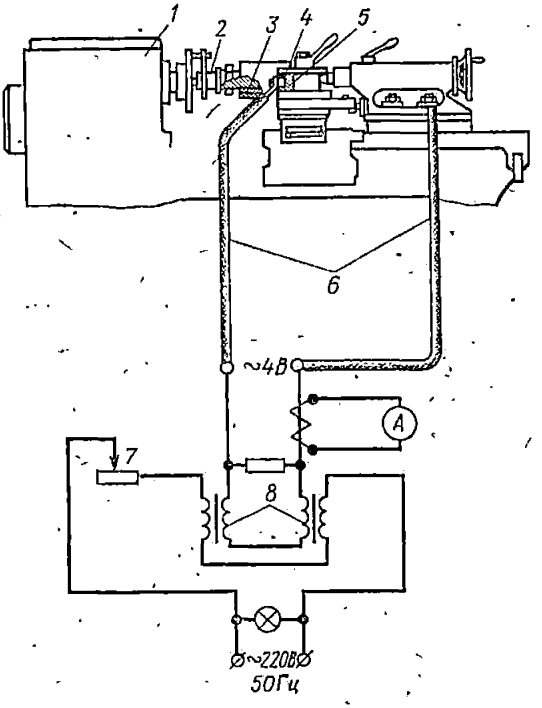


Рис. 258.

резания. Так, например, при точении нержавеющей стали 1Х18Н9Т со скоростью резания $v = 19$ м/мин температура нагрева должна быть выше 500° С, при $v = 300$ м/мин — 350° С и при $v = 375$ м/мин — 230° С.

Нагрев позволяет осуществлять обработку таких особо прочных материалов, как закаленная быстрорежущая сталь, которая обычными методами не поддается обработке резанием, с обеспечением заданной точности и качества поверхности при стойкости инструмента до 30 мин при $v = 15$ м/мин.

Обработка с введением электрического тока в зону резания является одним из эффективных средств

улучшения обрабатываемости особо прочных материалов. Этот метод основан на том, что в зону резания вводят электрический ток низкого напряжения плотностью 100...120 А/мм^2 при скоростях резания 150...200 м/мин. При этом методе обработки электрический ток, распределяясь в зоне контакта инструмента и заготовки, выделяет дополнительно большое количество тепла и способствует образованию тонкой пластической пленки, в результате чего в зоне контакта создается полусухое трение, а это снижает коэффициент трения и общее сопротивление материала деформированию и повышает стойкость режущей части инструмента.

На рис. 258 приведена схема установки для обработки с введением электрического тока в зону резания. Ток подается по проводам *6* от сети через реостат *7* и трансформатор напряжения *8* в зону контакта резца *4* и обрабатываемой заготовки *3*, закрепленной на оправке *2*. Прокладки *5* изолируют резец *4* от станка *1*.

При обработке жаропрочных материалов наряду с описанными выше методами широко применяют и другие различные методы обработки, такие, как химико-механический, электроконтактный, электроэрозионный, анодно-механический и др., описание которых приведено в § 87.

Обработка резанием высокопрочных закаленных сталей (высоколегированных и углеродистых сталей мартенситного класса твердостью HRC $>$ 28) в отличие от обработки жаропрочных материалов характеризуется крайне малой пластической деформацией, и работа резания в основном затрачивается на преодоление упругих деформаций и трения при интенсивном износе инструмента и больших значениях сил резания, особенно радиальной составляющей, превышающей тангенциальную в 2...3 раза, что обусловливает необходимость обеспечения высокой жесткости системы СПИД. Поэтому наряду с тщательной заточкой режущего инструмента (преимущественно ВК8 и ТТ7К12), обеспечением виброустойчивости системы СПИД и применением для охлаждения масляных смесей (например, 75°-ного дистиллатного эмульсионного масла и 25%-ного четыреххлористого углерода) обработку сводят к наименьшему объему резания, т. е. к чистовым отделочным операциям после термообработки.

Обрабатываемость деталей из металлокерамических жаропрочных сплавов, несмотря на их низкую прочность и пластичность, значительно хуже, чем обычных конструкционных металлов, вследствие высокой температуры резания и более высокой их истирающей способности. Средством, улучшающим обрабатываемость этих материалов, является пропитка маслом.

Обрабатываемость термостойких пластмасс определяется видами наполнителя и связующего, а также технологическим процессом их получения. В зависимости от вида применяемого наполнителя термостойкие пластмассы подразделяют на *комбинационные* с порошкообразным или в виде крошки наполнителем (например, фенопласт К18-2), *слоистые* с наполнителем в виде бумаги, древесного шпона и ткани (например, текстолит, гетинакс и т. п.) и *литые* чистые смолы без наполнителя.

Таблица 26. Достигаемые классы точности при различных видах обработки деталей из пластмасс

Пластмассы		Вид механической обработки							
		точение		сверление	протягивание	развертывание		фрезерование		шлифование
класс	тип и марка	черновое	чистовое			однократное	двукратное	черновое	чистовое	
Реактопласты	Пресспорошки (К18-2, К211-2, К21-22 и др.).	4...4а	3...3а	3а	3	3	2а	6	4...4а	2
	Прессматериалы волокнистые (АГ4, волокнит)	4...4а	3...3а	3а	3	3	2а	6	4...4а	2
	Слоистые (текстолит, гетинакс)	4...4а	3...3а	3а	3	3	2а	6	4...4а	2
Термопласты	Полиэтилен, винипласт	4...4а	3...3а	—	—	—	—	6	4...4а	—
	Полиметилметакрилат (органическое стекло)	4...4а	3...3а	3а	3	3	2а	6	4...4а	2
	Полистирол, фторопласт-4	4...4а	3а	4	3а	3а	—	6...7	4а	—

Сравнительная обрабатываемость пластмасс на основе различных связующих — термореактивных или термопластичных смол — определяется тем, что первые при нагревании не размягчаются (это позволяет применять оптимальные режимы резания и углы заточки режущего инструмента), а вторые под действием повышенной температуры размягчаются. Допустимая предельная температура в зоне резания для первого вида пластмасс 160° С, а для второго 60...130° С.

В табл. 26 приводятся значения достигаемых классов точности при различных видах обработки деталей из пластмасс.

Особенностями условий обработки пластмасс являются: склонность некоторых пластмасс к скалыванию, высокая упругость (в 40 раз больше упругости стали) и неоднородность строения материала при различной твердости его составных частей, приводящая к ухудшению качества обрабатываемой поверхности. Наряду с этим пластмассы оказывают сильное абразивное воздействие на режущий инструмент, а пониженная их теплопроводность обусловливает плохой теплоотвод из зоны резания и перегрев режущих кромок инструмента. Кроме того, интенсивное пылеобразование, особенно термореактивных пластмасс, приводит к необходимости применения специальных обеспыливающих средств, а гигроскопичность пластмасс исключает применение смазывающе-охлаждающих жидкостей, что обусловлено применением для целей охлаждения сжатого воздуха.

Пластмассы обрабатывают точением быстрорежущими и твердосплавными резцами, однако при точении стеклопластика удовлетворительную стойкость показывают только твердосплавные резцы, а для обработки особо прочных стеклопластиков — алмазные инструменты. Основным затруднением при точении слоистых пластмасс является отслаивание поверхностного слоя.

Наиболее трудоемка обработка фрезерованием слоистых пластмасс, где во избежание их расслаивания обработку ведут по схеме «попутного» фрезерования фрезами с материалом режущей части из быстрорежущих и твердосплавных материалов.

Обработка пластмасс абразивами имеет ряд преимуществ по сравнению с обработкой режущими лезвийными инструментами (точением, фрезерованием и т. п.), заключающийся в отсутствии сколов и трещин и в повышении класса шероховатости обрабатываемой поверхности.

Чтобы не было прижогов, при обработке шлифованием следует избегать длительного контакта круга с обрабатываемой поверхностью. При обработке оргстекла широко распространено шлифование (предварительное) и чистовое шкуркой № 325 при обильном смачивании водой. Однако по возможности следует заменить шлифование полированием войлочными, фетровыми, суконными или фланелевыми кругами, шаржированными пастой ГОИ.

Текстолит, асбо- и стеклотекстолит разрезают абразивными (карборундовыми) кругами СМ1—СТ1 зернистостью 24...46 с охлаждением 5%-ной эмульсией.

Глава XXXI
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

§ 90. Основные зависимости для определения себестоимости изготовления деталей

Новые организационные формы управления промышленностью и усиление экономического стимулирования повышают роль и значение планирования. Одним из основных факторов объективного экономического расчета является себестоимость, определяющая рентабельность работы на рабочем месте, участке, в цехе и на предприятии в целом. Условие наибольшей экономичности всего технологического процесса изготовления детали (или отдельной его операции), т. е. условие наименьшей себестоимости детали, является основным критерием оценки целесообразности технологического процесса или отдельной операции. Однако помимо наибольшей экономичности операции может выдвигаться требование наибольшей ее производительности в единицу времени.

Выполнение условий наибольшей производительности операции приводит к повышению себестоимости операции и к повышенному расходу инструмента. Но если перевод одной или нескольких операций в технологическом процессе обработки заготовки с режимов работы, соответствующих наибольшей экономичности, на режимы наибольшей производительности приводит к повышению производительности всей

линии станков, так что при этом понижается общая себестоимость обработки заготовки, то такое решение будет и более экономичным. Экономичность той или иной операции или процесса определяется путем составления технологии сравнительных вариантов изготовления детали и сравнения себестоимости детали, получаемой при осуществлении этих вариантов в заданных условиях производства.

Себестоимость детали определяют по формуле

$$C = M + З[1 + (H/100)],$$

где M — себестоимость материала, затрачиваемого на деталь, за вычетом стоимости отходов, коп.; $З$ — прямая заработная плата рабочих по всем операциям изготовления детали, коп.; H — расходы цеховые и общезаводские, %.

Однако эта формула для подсчета себестоимости детали мало пригодна при определении экономичности технологического процесса вследствие того, что в общей величине цеховых (общезаводских) расходов заключены расходы как зависящие, так и не зависящие от методов обработки.

Для решения вопроса об экономичности процесса необходимо выразить себестоимость изготовления детали в виде функции от категорий затрат, зависящих от вида и характера процессов обработки. Этими затратами являются: 1) затраты, прямо пропорциональные количеству изготовленных за определенное время деталей, т. е. так называемые производственные расходы (заработная плата, себестоимость материала, такие цеховые расходы, как себестоимость электроэнергии и т. п.); 2) затраты, распределяющиеся на все количество деталей, изготовленных в определенный отрезок времени, т. е. единовременные или периодические затраты. К ним относятся расходы на капитальные затраты, связанные с возведением сооружений, приобретением оборудования, изготовлением приспособлений, подготовкой и наладкой станков для каждой партии деталей и т. п.

Таким образом, себестоимость изготовления всех деталей, сделанных в определенный отрезок времени, т. е. всей партии деталей, может быть выражена формулой

$$C = Px + K,$$

где P — производственные расходы на одну деталь; x — число деталей, изготовленных за рассматриваемый отрезок времени; K — капитальные и периодические расходы, относящиеся к тому же отрезку времени, т. е. к изготовляющейся партии в целом.

Отсюда себестоимость изготовления одной детали может быть выражена формулой

$$C_1 = P + (K/x).$$

§ 91. Сравнение вариантов технологического процесса

Сравнивать экономичность нескольких вариантов технологичеекого процесса или операции можно различными способами, начиная от весьма простых и приближенных подсчетов и кончая полной и подроб-

ной калькуляцией себестоимости осуществления вариантов процесса или отдельных его операций.

Простейшими и наименее трудоемкими являются методы сопоставления двух вариантов: по величине технологического времени (основного), по отношению технологического времени к штучному времени $T_т^*/T_{шт}$ по коэффициенту использования материала.

Сравним, например, строгание и фрезерование плоскости длиной A и шириной B по величине затрачиваемого технологического времени, которое для этих видов обработки может быть выражено формулами

$$T_{т_с} = B/s_с; \quad T_{т_ф} = (A + l_1)/s_ф,$$

где $T_{т_с}$ и $T_{т_ф}$ — технологическое время соответственно при строгании и фрезеровании; $s_с$ и $s_ф$ — подачи в 1 мин соответственно при строгании и фрезеровании; l_1 — длина врезания при фрезеровании.

Преимущество того или иного из этих видов обработки при сравнении их по технологическому времени определяется из неравенств

$$\frac{B}{s_с} \gtrless \frac{A + l_1}{s_ф}.$$

Если левая часть неравенства будет больше правой, то выгоднее будет фрезерование, и наоборот.

Поменяв местами члены в неравенстве, получим

$$\frac{B}{A + l_1} \gtrless \frac{s_с}{s_ф}.$$

Из неравенства видно, что при узких и длинных поверхностях строгание может быть выгоднее, чем фрезерование. Таким образом, могут быть сравнены и любые другие виды обработки. Более точным будет сопоставление операций по штучному времени или по прямым производственным расходам, т. е. по величине $T_{шт}З$ для данной операции. Однако и последний способ сравнения еще недостаточно точен, так как он предполагает одинаковую величину всех цеховых (общезаводских) расходов (на капитальные затраты, амортизацию и ремонт сооружения, станков и оснастки, расходы на содержание инструмента, на наладку станков и т. п.), что не всегда имеет место.

В случаях же, когда необходимо иметь более точное экономическое сравнение отдельных операций или процессов, надо учитывать не только производственные, но и накладные расходы.

Ввиду того что составление подробной калькуляции себестоимости обработки по нескольким вариантам является весьма сложной, трудоемкой задачей, пользуются упрощенными способами подсчетов. В качестве основного упрощения в таких подсчетах принимают, что для сравнения операций или процессов достаточно учитывать лишь такие расходы, которые зависят от вида и характера сравниваемых операций (или процессов), и можно совершенно не учитывать независимые расходы, которые будут одинаковыми или мало отличающимися в данных сравниваемых вариантах обработки.

Технологическую себестоимость операции $C_т$, зависящую от способа обработки, или расходы, связанные со способом выполнения дан-

* Это отношение является показателем степени механизации операции.

ной операции и подлежащие учету при экономическом сравнении отдельных вариантов обработки, можно выразить формулой

$$C_т = T_{шт}(c_р + c_с + c_п + c_и),$$

где $c_р$, $c_с$, $c_п$, $c_и$ — себестоимость одной минуты работы соответственно рабочего, станка, приспособления и инструмента с относящимися к каждому из этих слагаемых цеховыми расходами.

В величину $c_р$ входит минутная заработная плата рабочего, а также все начисления на заработную плату согласно существующим положениям. Величина $c_с = c_{а.с} + c_{р.с} + c_{а.з} + c_э$, где $c_{а.с}$ — затраты на амортизацию станка; $c_{р.с}$ — себестоимость ремонта станка; $c_{а.з}$ — затраты на амортизацию здания, приходящиеся на один станок; $c_э$ — себестоимость электроэнергии. Все эти величины должны быть отнесены к одной минуте работы станка. Величина $c_п$ включает себестоимость изготовления, ремонта и содержания приспособлений, также отнесенную к одной минуте работы станка. Величина $c_и$ включает расходы по содержанию инструмента; отнесенные к одной минуте работы станка (амортизация, заточка инструмента и т. п.).

Экономическое сравнение операций или технологических процессов, являясь весьма важной частью задачи выбора наиболее оптимального варианта, все же не во всех случаях является окончательным. Наиболее выгодной будет операция (или процесс), которая, удовлетворяя всем технологическим требованиям, имеет наименьшую трудоемкость, считая не только затраты труда на выполнение данной операции (или процесса), но и затраты труда, требующегося для изготовления специального оборудования, приспособлений, инструмента и др., необходимых для выполнения этой операции (или процесса). В этом случае помимо экономического сравнения вариантов необходимо проанализировать условия, осложняющие или даже исключающие возможность осуществления вариантов обработки.

Выбор заготовки с точки зрения минимальной себестоимости изготовления детали в целом производится также путем сопоставления сравнительных величин себестоимости изготовления детали, т. е. тех частей полной себестоимости, которые изменяются при различных видах заготовок.

Глава XXXII
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

§ 92. Автоматизация проектирования технологических процессов

В общем комплексе технологической подготовки производства работы по проектированию технологических процессов занимают основное место как по сложности задач, так и по трудоемкости выполнения. Технологический процесс является основой не только для производства изделия, но также и для планирования, нормирования, учета и т. д. Поэтому до появления ЭВМ ускорение и упрощение решения технологических задач осуществлялось на основе использования обобщенных

типовых материалов, различных таблиц, справочников и т. п. Создание таких вспомогательных материалов — один из первых этапов алгоритмизации проектирования технологических процессов, т. е. разработки систем формальных правил, однозначно определяющих процесс решения задач.

Работы по автоматизации проектирования технологических процессов были начаты в 60-х годах. Эти работы показали принципиальную возможность применения ЭВМ для проектирования технологии. Для создания системы автоматизации проектирования технологических процессов необходимо решить следующие основные задачи:

а) разработать формальный и достаточно простой язык описания исходной и справочно-нормативной информации;

б) разработать достаточно универсальную методику, пригодную для алгоритмизации проектирования технологических процессов изготовления деталей различных классов;

в) на основе принятой методики и формального языка описания данных создать алгоритмы и программы проектирования технологических процессов;

г) разработать эффективные технические устройства графического обмена данными с ЭВМ и программное обеспечение этих устройств, что позволит, в частности, организовать оперативную связь технолога с ЭВМ.

Автоматизация проектирования технологических процессов с применением ЭВМ позволяет существенно сократить затраты времени, а также дает возможность повысить качество проектирования за счет применения математических методов. Исходными данными при проектировании технологии служит информация о детали, оснастке, оборудовании, инструменте, заготовке и др. В результате необходимо выбрать наиболее рациональный вариант технологического процесса, отвечающий условиям конкретной производственной системы, т. е. определить состав и последовательность технологических операций, структуру и характеристики каждой операции и перехода, обеспечивающие получение заданной чертежом формы, размеров и точности детали с наименьшей технологической себестоимостью.

Полученная информация выводится на алфавитно-цифровое печатающее устройство (АЦПУ), чертежно-графические автоматы и на устройства вывода управляющих программ — для станков с программным управлением.

Решение задачи автоматизации проектирования в общем виде представляет значительные трудности. Для эффективного использования ЭВМ и получения практических результатов необходимы некоторые упрощения, направленные на ограничение числа анализируемых вариантов технологических процессов. Определенную роль в этом играет унификация технологии. Упрощения обычно заключаются в расчленении процесса проектирования на ряд уровней, различных по степени детализации. Этот метод содержит четыре уровня детализации. Первый уровень отражает принципиальную схему технологического процесса, которая включает в себя состав и последовательность этапов. Например, в механообработке этапами являются черновая, получисто-

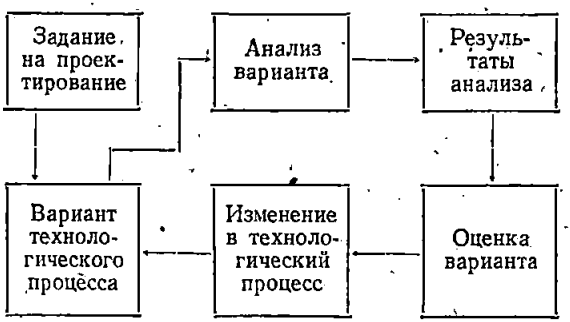
вая, чистовая и отделочная обработка деталей. Исходные данные — общие сведения о детали, программе выпуска, методах и видах обработки. Цель — получение нескольких рациональных схем обработки деталей. Второй уровень — это проектирование маршрутного технологического процесса, включающего определение состава и последовательности операций, выбор баз, оборудования, оснастки. Исходные данные: схема технологического процесса, сведения о форме, размерах, технических требованиях к детали, составе и характеристике оборудования и оснастки. Цель — получение нескольких рациональных маршрутных технологических процессов. На третьем уровне проектируется операционный технологический процесс на основе ранее разработанных маршрутов обработки деталей. Степень детализации маршрута доводится до переходов в каждой операции. В результате выявляется несколько вариантов операционного технологического процесса и из них выбирается оптимальный. Четвертый уровень детализации необходим при использовании станков с программным управлением. Степень детализации здесь доводится до выявления элементов траектории движения режущего инструмента и команд управления станком.

Поскольку точность оценки результатов повышается от уровня к уровню, то на каждом уровне необходимо выбирать не один, а несколько близких по оценкам эффективности вариантов. На следующем уровне они детализируются, оценки уточняются и ряд вариантов будет отброшен. Кроме того, на последующем уровне возможна корректировка решений, принятых на предыдущем уровне. Поэтому возникают обратные связи и процесс проектирования становится циклическим.

Однако не все задачи проектирования технологического процесса можно решать на ЭВМ в автоматическом режиме, т. е. в режиме ввод данных — обработка на ЭВМ — вывод результатов. Как показывает опыт разработки и внедрения систем автоматизации проектирования, в таком режиме рационально охватывается до 80% номенклатуры деталей типа «тела вращения», около 50% — плоскостных и около 30% — корпусных деталей.

В общем виде процесс проектирования представлен на схеме 4.

Схема 4



Из этой схемы видно, что проектирование является циклическим процессом и чем больше циклов можно выполнить за отведенное время, тем лучший результат будет достигнут. Использование ЭВМ в этом процессе позволяет технологу быстрее анализировать варианты технологического процесса и ввести желаемые изменения, предоставляя ЭВМ дополнительные данные или вводя ограничивающие условия; тем самым за то же время удается выполнить больше циклов проектирования. Наилучших результатов можно достигнуть при непосредственном контакте технолога с ЭВМ при помощи устройств графического обмена данными типа экранов электроннолучевых трубок (дисплей).

При проектировании технологии на конкретном предприятии нет необходимости каждый раз решать эту задачу заново. Специфика предприятия (наличие оборудования, оснастки, практический опыт и др.) учитывается при формировании справочно-информационного фонда в ЭВМ. Кроме того, целый ряд алгоритмов разрабатывается таким образом, чтобы настраиваться на работу с помощью таблиц, в которых также можно отразить специфику данного производства.

При решении задач в области автоматизации проектирования технологии необходимо учитывать экономическую эффективность, поэтому началу работ должен предшествовать тщательный анализ производства с учетом серийности выпускаемых изделий, необходимых капитальных затрат (приобретение ЭВМ, если это необходимо), технологических и производственных показателей и т. д. Необходимым и обязательным условием выполнения конкретной работы по автоматизации проектирования технологических процессов является положительный экономический эффект.

Процесс внедрения автоматизации проектирования технологии делится на три этапа. К первому этапу относятся опытное проектирование на ЭВМ технологических процессов изготовления наиболее характерных деталей, тщательная проверка технологии, качества проектирования процесса в целом и отдельных операций. По результатам проверки вносятся необходимые изменения в алгоритмы и программы. Двух-, трехкратным проектированием технологии для деталей в количестве не менее 50—100 шт. добиваются ликвидации всех ошибок и неточностей в исходных данных и алгоритмах.

Ко второму этапу относится работа по опытному изготовлению деталей по проекту, разработанному на ЭВМ. Учитывая большое количество операций и сложность структуры алгоритмов и программ, опытное изготовление деталей целесообразно производить последовательно по отдельным группам операций. Например, в опытной партии по проекту, выполненному на ЭВМ, производится изготовление деталей на токарных операциях. Затем производится окончательная оценка качества машинной технологии и при необходимости вносятся изменения в программу или информационно-справочные данные. Последовательной проверкой всего комплекса технологических операций в производственных условиях достигается устранение ошибок и неточностей, допущенных при разработке алгоритмов и программировании.

На третьем этапе осуществляется массовое проектирование технологии на ЭВМ по разработанному алгоритму.

§ 93. Автоматизация управления технологическими процессами

Автоматизация управления технологическими процессами в машиностроительном производстве является одним из существенных факторов его дальнейшего развития, повышения его организационно-технического уровня и роста производительности труда. Совершенствование структуры и методов управления предприятиями и объединениями с помощью автоматизированных систем управления, с одной стороны, и внедрение автоматизированных систем управления технологическими процессами, с другой стороны, являются в настоящее время основными факторами повышения эффективности общественного производства.

На первых этапах для целей автоматизации управления технологическими процессами применялись лишь простые устройства — регуляторы (механические, электромеханические или электрические). Задача автоматизации сводилась в основном к обеспечению устойчивости регулируемых процессов. Впоследствии появились оптимальные регуляторы, способные при изменении внешних условий изменять значения регулируемых параметров для поддерживания процесса в наиболее выгодном режиме. Однако лишь с внедрением ЭВМ в промышленность появилось понятие автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП). Под автоматизированной системой управления технологическим процессом следует понимать человеко-машинный комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, где на основе централизованного получения и комплексной обработки информации от указанных элементов и внешней среды вырабатываются управляющие воздействия для поддержания процесса в заданном режиме или для его централизованного изменения в соответствии с заданным алгоритмом управления.

В соответствии с существующей классификацией по уровню автоматизации АСУТП могут быть трех видов:

1) информационные АСУТП — системы управления технологическими процессами, в которых получение и обработка информации от их элементов и от внешней среды частично или полностью автоматизированы, а выработка сигналов о выходе контролируемых параметров технологических процессов за заданные пределы осуществляется автоматически. Обратное воздействие на процессы (обратная связь) по полученным сигналам осуществляется человеком, т. е. человек принимает на основе полученной информации необходимые решения для целенаправленного изменения технологических процессов;

2) информационно-советующие АСУТП, которые, сохраняя все функции информационных АСУТП, отличаются от последних тем, что величина корректирующего воздействия на процесс в соответствии с заданным алгоритмом управления вырабатывается автоматически, обратная же связь по-прежнему осуществляется человеком;

3) управляющие АСУТП — системы, в которых и выработка корректирующих воздействий на управляемый технологический процесс происходит автоматически, т. е. это системы с автоматизированной обратной связью.

При выборе и обосновании выбора АСУТП необходимо определить функции, которые может выполнять данная система, и источники ее технико-экономической эффективности применительно к автоматизируемому технологическому процессу.

В АСУТП обычно используются специально создаваемые для этих целей управляющие вычислительные машины (УВМ). Они оснащены устройством связи с объектом управления, которое содержит большое число каналов (до нескольких тысяч), по которым могут передаваться непрерывные (аналоговые) и дискретные (цифровые) сигналы. Эти устройства оснащены преобразователями типа аналог — цифра и цифра — аналог, позволяющими управлять процессом цифровой вычислительной машины.

Главной задачей АСУТП, использующих УВМ, является проведение большого числа сложных математических вычислений на основе информации, полученной от объекта управления, и выработка оптимального регулирующего воздействия на процесс или советов оператору в результате указанных вычислений.

Применение вычислительной техники значительно расширяет возможности автоматического управления, а именно: резкое увеличение числа регулируемых параметров; возможность осуществления сложных алгоритмов управления; универсальность, способность быстро перестраиваться (за счет изменения программ) на новые алгоритмы управления; наличие памяти, позволяющее учитывать при управлении не только текущее состояние регулируемого объекта, но и его предысторию.

Автоматизированные системы комплексного управления носят организационно-технологический характер, т. е. помимо своей основной функции могут выполнять обработку определенной планово-производственной информации, на базе которой производится оперативное управление работой соответствующего подразделения (цеха, участка). Эти системы могут быть автоматическими и автоматизированными. Характерной особенностью последних является участие человека на различных этапах формирования алгоритма управления технологической операцией, стадией или процессом. Иными словами, отличие автоматизированных систем от автоматических определяется степенью автоматизации.

Другая важнейшая задача АСУТП — это программное управление оборудованием, получившим в настоящее время широкое распространение в промышленности. Преимущество оборудования с программным управлением заключается в сокращении времени наладки для обработки заготовки, повышении производительности труда путем более рационального использования его технологических возможностей, стабильности протекания процесса и др.

Для того чтобы в полной мере реализовать преимущества оборудования с программным управлением, необходимо автоматизировать процесс подготовки управляющих программ. Это является следующим шагом в развитии комплексной автоматизации производства — соединение программно-управляемой технологии с автоматизированным проектированием.

Ниже рассмотрены принципы подготовки программ для станков с программным управлением и основные вопросы автоматизации этого процесса.

§ 94. Проектирование процесса обработки на станках с ЧПУ

Программное управление металлорежущими станками заключается в автоматическом регулировании параметров обработки по предварительно разработанной программе в целях получения обработанных поверхностей заданного качества, точности, формы и размеров.

По способу задания программы станки с программным управлением делятся на две основные группы: с программированием цикла и режимов обработки и с числовым программным управлением (ЧПУ). В первой группе станков при помощи различных программоносителей программируются только цикловые команды (цикл работы станка, смена режимов обработки, смена инструмента и т. п.). Геометрические формы изделия и размеры обработки не программируются, а задаются при помощи переналаживаемых упоров, воздействующих на путевые выключатели или копиры. Эти станки, в свою очередь, делятся на две подгруппы по степени автоматизации: с полной автоматизацией цикла обработки и с программированием режимов обработки.

Числовое программное управление (ЧПУ) станками отличается от всех других систем управления тем, что программа работы станка задается в виде отвлеченных чисел и записывается на программоноситель в кодированном виде. Программоносителем для ЧПУ могут служить штекерные панели, перфоленты, магнитные ленты и т. п. Указанная система дает возможность программировать все необходимые элементы работы станка.

Системы числового программного управления делятся на две основные группы: непрерывные и позиционные. Непрерывные системы числового программного управления применяются на станках, предназначенных для обработки деталей сложной геометрической формы, и характеризуются тем, что определяют траекторию движения режущего инструмента, необходимую для получения заданного контура детали.

Позиционные системы числового программного управления применяются в тех случаях, когда требуется обеспечить выход инструмента в заданное положение. Они характеризуются тем, что в соответствии с заданной программой выводят исполнительный орган.

Металлорежущие станки с числовым программным управлением по своим технологическим возможностям обладают всеми качествами станков общего назначения, но в то же время работают по автоматическому циклу, характерному для специальных и специализированных станков. Однако вытеснить из механических цехов станки всех других видов и стать основным оборудованием для механической обработки металлов они не могут, так как область применения станков с программным управлением ограничивается их технико-экономическими показателями. Для эффективного применения станка с числовым програм-

мным управлением вместо станка общего назначения требуется как минимум, чтобы время выполнения операции на этом станке было меньше, чем на станке общего назначения. А это достижимо только при осуществлении сложных операций.

Рассмотрим основные принципы подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Все элементы программы: направление, величина и скорости заданных рабочих и вспомогательных перемещений, порядок работы исполнительных органов и другие элементы — задаются в цифровой форме — в виде чисел, расположенных в определенном порядке и записанных с помощью кода. Код представляет собой условную запись числа или действия, позволяющую достаточно простым способом получить изображение этого числа или действия в форме, удобной для использования в системах программного управления. Различные коды, применяемые в станках с ЧПУ, характерны тем, что любое число, представляющее заданное перемещение исполнительного органа, изображается в виде комбинации только двух цифр: 1 и 0. Главным достоинством такого рода записи является удобство преобразования информации: для автоматической записи и воспроизведения сигнала в этом случае можно использовать широко применяемые в автоматике реле, имеющие два состояния: «Включено» — «Выключено». Принимая одно из состояний соответствующим 1, а другое — 0, можно в принципе записывать и воспроизводить любые цифровые команды. Применяемые системы кодирования позволяют переносить на ленту не только числовую, но и буквенную информацию, что дает возможность записывать команды в более удобной форме.

С экономической точки зрения допускаемая величина партии деталей, обрабатываемых на станке с ЧПУ, может быть определена по формуле

$$Q \doteq \frac{Cm}{Э-(З_к+З_э)},$$

где Cm — стоимость подготовки производства для одного наименования детали; $Э$ — экономия за счет автоматизации по каждой детали; $З_к$ — дополнительные затраты на капиталовложения по каждой детали; $З_э$ — затраты на эксплуатацию оборудования по каждой детали.

Из формулы видно, что для эффективного применения станков с ЧПУ при обработке малых партий деталей в первую очередь необходимо стремиться к сокращению затрат на подготовку производства, т. е. главным образом на разработку управляющих программ.

При разработке программ для станков с ЧПУ необходимо каждый раз решать следующие задачи регулирования: траектории движения инструмента относительно заготовки; режимов резания; вспомогательных движений (установочных, контрольных, смены инструмента и др.).

Хотя программирование работы станка с ЧПУ можно осуществлять и непосредственно с использованием устройств подготовки данных на перфокартах или магнитных лентах, применение ЭВМ

для этих целей дает существенный экономический эффект. В этом случае работа состоит из следующих этапов: 1) кодирование чертежа обрабатываемой детали; 2) проработка технологических вопросов (выбор режущего инструмента, назначение переходов, расчет режимов резания и т. д.); 3) перфорация исходных данных (геометрической и технологической информации); 4) ввод данных в ЭВМ; 5) расчет управляющей программы на ЭВМ; 6) контроль полученных результатов.

В качестве примера можно привести разработанную ЭНИМСом «Универсальную систему программирования для станков с ЧПУ». Для записи информации разработан язык, включающий около 250 понятий, содержащий качественную и количественную информацию о различных элементах системы СПИД и записываемых сочетанием буквенных символов. Все эти данные заносятся в таблицы, перфорируются и вводятся в ЭВМ. На выходе ЭВМ можно получить программоноситель для станка с ЧПУ и различные сопроводительные документы, выведенные на АЦПУ.

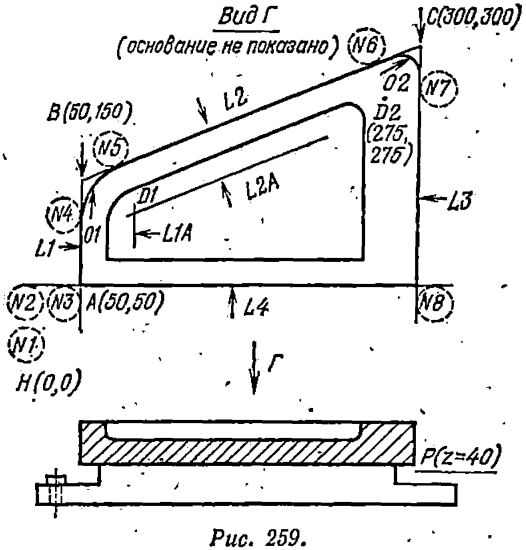


Рис. 259.

Существуют и другие системы автоматизации программирования для станков с ЧПУ. Так, например, Киевским институтом автоматизации разработана система АПС-С, ориентированная на подготовку управляющих программ для сверлильных станков. Для подготовки программ в ЭВМ необходимо ввести только данные о чертеже без какой-либо их предварительной обработки. За рубежом также широко применяются системы автоматизации программирования. Наибольшее распространение получила система APT (Automate Programme Tool — автоматически программируемые инструменты). Система APT включает язык, состоящий из 250 терминов, которыми закодированы отдельные команды или данные. Используя термины языка и параметры обработки, составляют программу для ЭВМ, которая переводит ее в закодированную цифровую программу на перфоленте. Ниже приведен упрощенный пример программирования с использованием системы APT.

Программа обработки детали записывается совокупностью «формулировок», которые пробиваются на перфокартах буква за буквой. Вся совокупность формулировок может быть разделена на три группы: а) предварительная информация, б) геометрические определения обрабатываемых участков, в) команды для выбора условий обработки.

При этом для описания геометрии деталей программист может различным элементам присваивать символические обозначения, указывая при этом тип и местоположение элемента через знак равенства. Любое наименование или символ, содержащийся в левой части равенства, означает для ЭВМ указание о занесении в оперативную память информации, содержащейся в его правой части. ЭВМ затем может извлекать из памяти соответствующую информацию при последующих появлениях этого символа в программе. Кроме указанных геометрических определений, произвольно выбираемых программистом, могут употребляться только слова из лексики АРТ.

Пусть необходимо запрограммировать окончательную обработку фрезерованием детали, показанной на рис. 259 *. Язык АРТ использует английскую транскрипцию, поэтому, чтобы облегчить понимание программы, в левой колонке табл. 27 дан полный русский перевод тех английских слов, от которых образованы термины языка. Правая колонка содержит пояснение.

Таблица 27

Деталь 1	Определяется номер детали. Он не используется в расчетных операциях, но выводится на АЦПУ
Оборудование/10, 21	Задается подпрограмма окончательной обработки, ориентированная на конкретную комбинацию станка и системы ЧПУ. Первое число задает тип управляющего устройства, второе — код станка
Фреза/35, 5	Диаметр 35 мм, радиус закругления 5 мм
Инструмент/1575, 200	Инструмент № 1575, эффективная длина 200 мм
Внутренний допуск/.02	Задается степень приближения кривых хордами 0,02 мм. Возможно приближение касательными и секущими
H=точка/0, 0, 50	Координаты точки H: $x=0$, $y=0$, $z=50$. В этой точке находится инструмент. Позиция № 1

Вся предварительная информация закодирована. Перейдем к описанию геометрии детали. Все введенные обозначения указаны на рисунке. Термин «точка», так же как и термины «линия» и «окружность», позволяет определить геометрию детали и закон движения инструмента. Существуют и другие термины для более сложных геометрических объектов. Способ определения элементов может быть выбран любой. Так, например, существует шесть способов определения прямой: 1) две точки; 2) точка и окружность, к которой она касается; 3) две окружности, к которой она касается; 4) точка и перпендикулярная прямая; 5) точка на прямой и угол к оси; 6) прямая, параллельная данной прямой, и расстояние по перпендикуляру между ними. Сим-

* Пример подготовки программы для станка ЧПУ подготовлен с.н.с. С. А. Либертэ.

волические имена, вводимые потребителем, не должны совпадать с терминами языка. Например,

A = точка/50, 50	Точки *A*, *B*, *C* определены координатами *x* и *y*. Для описания контура координата *z* не нужна, так как она не используется для определения вертикальной подачи
B = точка/50, 150	
C = точка/300, 300	
*L*1 = линия/*A*, *B*	Прямые определяются двумя точками
*L*2 = линия/*B*, *C*	
*L*1*A* = линия/параллель, *L*1, *x* больше, 35	Определены две вспомогательные линии как линии, параллельные данным и расположенные в определенном положении и на заданном расстоянии от них
*L*2*A* = линия/параллель, *L*2, *y* меньше, 35	
*D*1 = точка/пересечение *L*1*A*, *L*2*A*	Другой способ определения точки
*O*1 = окружность/центр, *D*1, радиус, 35	Определение окружности *O*1 через центр и радиус
*D*2 = точка/275, 275	
*O*2 = окружность/центр, *D*2, касательная, *L*2	Определение окружности через центр и прямую, к которой она касательна
*L*3 = линия/*C*, касательная, *O*2	Прямая определяется точкой и окружностью, к которой она касается
*L*4 = линия/*A*, перпендикуляр, *L*3	Прямая определяется точкой и перпендикуляром

Описание внутренней выемки делать не требуется, так как в примере рассмотрено фрезерование только контура детали.

Перейдем к командам обработки:

Шпиндель/1800, по часовой стрелке, средняя	Задается частота вращения шпинделя — 1800 об/мин, определяется средний диапазон скоростей
Подача/4500	Подача 4500 мм/мин. В этом примере принято фрезерование по подаче, поэтому фреза обходит контур по часовой стрелке
От/*H* смещение/0, 0, —10	Фреза спускается на 10 мм вниз, переходя с установочной высоты на рабочую
P = плоскость/0, 0, 1, 40	Плоскость задана коэффициентами уравнения $ax+by+cz=d$. В данном случае $z=40$
Поверхность детали = *P*	Устанавливается рабочая высота на все время обработки
Идти до/*L*4	Задается перемещение фрезы с остановкой перед прямой *L*4. Позиция № 2
Инструмент справа, идти влево/*L*4	С прежней скоростью фреза направляется вдоль *L*4, оставаясь от нее справа (на чертеже ниже). Позиция № 3
Подача/500	Начинаем резание на подаче 500 мм/мин,
Охлаждение/струя	включив охлаждение
Инструмент слева	Последовательно обходим все ранее опре-
Идти влево/*L*1	деленные элементы контура. В точках сопря-
Продолжать/*O*1	жения окружностей или окружности с пря-
Продолжать/*L*2	мой употребляется команда продолжения, а
Продолжать/*O*2	переход с прямой на прямую требует указа-
Продолжать/*L*3	ния направления движения. На чертеже
Идти вправо/*L*4	пунктирными кружками показаны все положения режущего инструмента (позиции № 4...№ 8)
Идти по/*L*1	Фреза остановится, пройдя *L*1. Позиция № 3
Охлаждение/выключить	Конечные команды: выключение охлаждения
Подача/4500	и отвод фрезы в конечную точку
Смещение/0, 0, 250	
Стоп	

Если бы необходимо было фрезеровать треугольную выемку, то следовало бы сменить инструмент, описать геометрию выемки и продолжить работу.

Эффективность применения языка иллюстрируется такими данными — скорость подготовки программ повышается в 10...20 раз, уменьшается число пробных пусков, обеспечивается изменение программы при изменении конструкции, не требуется перепрограммирования при смене станка и системы управления — в этом случае достаточно повторного пропуска программы на ЭВМ с указанием о выборе другой подпрограммы конечной обработки.

Оптимальным с точки зрения использования возможностей системы ЧПУ является создание многооперационных станков типа «обраба-

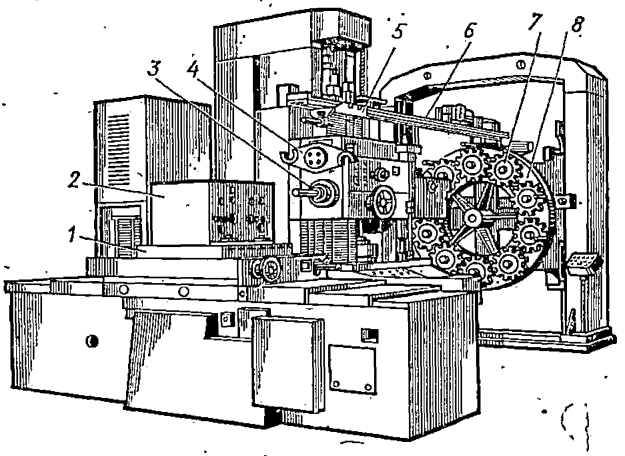


Рис. 260.

тывающие центры». Эти станки целесообразно применять в мелкосерийном и серийном многономенклатурном производстве при обработке точных и сложных деталей, а также таких, изготовление которых требует комплекса операций, например, при обработке с одной установки нескольких сторон корпусных деталей с использованием многих инструментов, при обработке деталей типа тел вращения с большим числом переходов, выполняемых различными инструментами.

На рис. 260 приведен общий вид многооперационного станка, изготовленного заводом «Станкоконструкция» (модель МА-2612Ф2). Магазин *8* станка — поворотный, имеет десять барабанов *7* с гнездами для режущих инструментов. Общая емкость магазина — 100 инструментов. Станок предназначен для обработки сложных корпусных деталей путем сверления, зенкерования, развертывания, растачивания, фрезерования и нарезания резьбы за одну операцию. Обрабатываемая корпусная деталь *2* закрепляется на поворотном столе *1*, позволяющем выполнять многопозиционную обработку.

Система программного управления обеспечивает установку координат с точностью до 0,02 мм. Для автоматической замены инструмента служит поворотная механическая рука *4*, которая переносит инструмент из захвата каретки *5* в шпиндель *3* и обратно. Каретка перемещает инструмент по направляющим *6* и вставляет его в свободное гнездо. Все подготовительные действия (поворот магазина и барабана с инструментами, захват очередного инструмента и транспортировка его кареткой к шпиндельной бабке) выполняются во время работы станка. Поэтому непосредственно на смену инструментов в шпинделе затрачивается всего несколько секунд. Все движения исполнительных органов станка управляются системой числового программного управления (ЧПУ).

Раздел четвертый
МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТИПОВЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Глава XXXIII
ОБРАБОТКА КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

§ 95. Общие сведения

Корпусные заготовки изготовляют литыми или сварными. Конструкции литых заготовок (чугунных или стальных) корпусных деталей должны отвечать требованиям машинной формовки, т. е. толщина стенок в разных сечениях не должна иметь резких переходов. Конструкции корпусных деталей из цветных сплавов должны обеспечивать возможность их литья в постоянные металлические формы.

Механическая обработка корпусных заготовок сводится главным образом к обработке плоскостей и отверстий, поэтому технологические требования, обусловливающие наименьшую трудоемкость обработки, определяют следующими основными условиями:

1) форма корпусной детали должна быть возможно ближе к правильной геометрической форме, например в поперечном сечении предпочтительнее форма четырехугольника; форма корпусной детали должна также предусматривать возможность ее полной обработки от одной базы: от плоскости и двух установочных отверстий на этой плоскости или от базовых отверстий в корпусе;

2) обработка плоскости и торцов отверстий по возможности должна выполняться на проход, для чего плоскости и торцы не должны иметь выступов; торцам отверстий необходимо придавать удобную форму для обработки их торцевой фрезой или цековкой;

3) корпусная деталь не должна иметь поверхностей, не перпендикулярных осям отверстий как на входе, так и на выходе сверления;

4) точно растачиваемые отверстия не должны иметь внутренних выступов, препятствующих растачиванию на проход; диаметры обрабатываемых отверстий внутри корпусной детали не должны превышать диаметров соосных им отверстий в наружных стенках детали;

5) в корпусных деталях следует избегать многообразия размеров отверстий и резьб.

Корпусную деталь следует изготовлять без спаривания с другой корпусной деталью и по возможности избегать пришабривания отдельных плоскостей или отверстий.

На диаметральные размеры основных отверстий задают допуски в пределах 1...3-го классов точности. Допуски на межосевые расстояния основных отверстий и перпендикулярность осей отверстий задают в соответствии с назначением корпусных деталей, например для корпусов зубчатых и червячных передач — в пределах 0,04...

0,06 мм и выше. Отклонения от соосности отверстий принимают в пределах половины допуска на диаметральный размер соосных отверстий. Основные отверстия корпусных деталей обрабатывают по 6...8-му классам шероховатости поверхности.

Неперпендикулярность торцевых поверхностей корпусных деталей осям отверстий допускают в пределах 0,1...1,0 мкм на 1 мм радиуса отверстия, эти поверхности обрабатывают по 5...6-му классам шероховатости поверхности. Отклонение от прямолинейности плоских поверхностей устанавливают в пределах 50...200 мкм на 100 мм длины. Поверхности разъема выполняют по 5...7-му классам шероховатости поверхности.

Для базирования заготовок корпусных деталей совмещают установочную, измерительную и сборочную базы. Для обработки базирующих поверхностей за первичную базу следует принимать черновые основные отверстия детали, что обеспечивает наиболее равномерное распределение припусков при последующей обработке отверстий. В ряде случаев в качестве первичных баз предусматривают специальные приливы и бобышки.

При совмещенных установочной и измерительной базах не бывает погрешности базирования и погрешность установки определяют погрешностью закрепления. При переменных базах погрешность базирования определяют построением размерной цепи.

Пространственные отклонения как в литых, так и в сварных конструкциях заготовок характеризуются смещением и уводом осей основных отверстий, возникающими в процессе литья или сварки. Кроме того, в процессе механической обработки заготовок, особенно после черновых операций, возникают деформации в результате перераспределения внутренних напряжений в связи с удалением верхних слоев металла. Пространственные отклонения заготовок уменьшаются в процессе механической обработки, но оказывают влияние после выполнения черновых и чистовых операций.

Таким образом, пространственные отклонения в процессе механической обработки заготовок представляют собой совокупность остаточных пространственных отклонений заготовки и деформаций, возникающих в процессе ее обработки.

Пространственные отклонения нарушают равномерность удаляемого при обработке слоя металла, влияя на геометрическую форму обработанной поверхности и на величину размерной погрешности. Поэтому при расчете припусков на обработку заготовок корпусных деталей остаточные пространственные отклонения принимают с коэффициентом 2.

§ 96. Механическая обработка корпусных деталей

К наиболее распространенным корпусным деталям относятся: корпуса редукторов подъемно-транспортных машин и оборудования, станины кузнечно-прессового оборудования и металлорежущих станков и другие подобные детали, характеризующиеся наличием плоскостей с заданным расположением различных поверхностей, отверстий

и предназначенные для соединения и координации взаимного положения основных узлов машины, агрегата, станка.

Обработку корпусных деталей выполняют в следующем порядке: вначале обрабатывают базирующие поверхности и крепежные отверстия, которые могут быть использованы при последующей установке; затем все плоские поверхности и после них — основные отверстия. При этом для корпусов нежесткой конструкции применяют повторную (проверочную) обработку базовых поверхностей после черновой обработки всех плоских поверхностей и основных отверстий. Однократно обрабатывают весьма жесткие конструкции корпусов при точных методах выполнения заготовок.

Окончательную обработку — шлифование или другие отделочные операции — производят в том же порядке: сначала обрабатывают

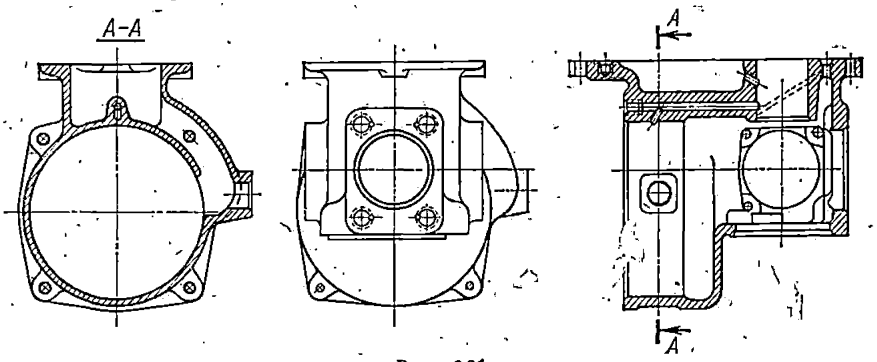


Рис. 261.

плоские поверхности, а затем основные отверстия. Этот способ обработки называется *обработкой от плоскости*. При использовании в качестве установочной базы отверстия и прилегающего к нему торца процесс называется *обработкой от отверстия*. Целесообразность обработки от плоскости или от отверстия зависит от ряда условий, а именно: точности заготовки, требуемой точности обработки, производственной программы (допустимой сложности приспособлений), действующего парка оборудования и др.

Для средних и малых размеров корпусных деталей, где перестановки их в процессе обработки не вызывают трудностей, понятия обработки «от плоскости» или «от отверстия» теряют свое значение. Здесь целесообразнее следовать принципу совмещения конструкторских и установочных баз.

Рассмотрим пример обработки корпуса, изображенного на рис. 261. На каждую из плоскостей выходит перпендикулярное ей отверстие. Этим определяется целесообразность обработки каждой группы поверхностей (отверстия и торца) с одной установки. При обработке поверхностей другой группы — другого отверстия и другого торца — ранее обработанные отверстия и торец будут использованы как установочные базы; то же будет при обработке поверхностей третьей группы. Таким образом, в этих операциях отражаются одновременно оба принципа: и обработка «от плоскости» и обработка «от отвер-

стия». Плоскость (одна из установочных баз) будет определять одну координату обрабатываемого отверстия, а отверстие (вторая установочная база) — координату обрабатываемой плоскости. В зависимости от способов изготовления литые заготовки обрабатывают без разметки в приспособлениях, а также по разметке полной или частичной.

Сварные конструкции корпусов, выполненные из элементов, не подвергавшихся обработке, проходят черновую, получистовую и чистовую обработки. При этом в зависимости от объема производства и точности выполнения сварочных работ корпуса обрабатывают в приспособлениях или по разметке. Поверхности сварных корпусов, выполненные из предварительно обработанных элементов, подвергают только чистовой обработке без разметки, так как такие корпуса сваривают в приспособлениях, обеспечивающих достаточную точность взаимного положения их элементов. При этом установку крупногабаритных корпусов производят с выверкой по обработанным до сварки поверхностям, а установку корпусов небольших габаритов — в приспособлениях.

Плоские поверхности корпусов в серийном производстве обрабатывают на продольно-фрезерных или продольно-строгальных станках, а в массовом — на протяжных станках, фрезерных станках непрерывного действия с карусельными столами или с барабанными устройствами. Последние типы станков позволяют применять параллельно-последовательный метод черновой и чистовой обработки. Плоские поверхности корпусов больших размеров обрабатывают на портально-фрезерных станках фрезерными головками, перемещающимися относительно заготовки, установленной на неподвижной плите станка.

Базовые поверхности корпусных деталей небольших размеров обрабатывают на обдирочно-шлифовальных станках с вертикальной осью вращения. Плоские поверхности корпусов окончательно обрабатывают шлифованием на плоскошлифовальных станках, тонким строганием широким резцом, тонким фрезерованием и шабрением.

Основные отверстия корпусных деталей обрабатывают на универсальных горизонтально-расточных станках или на агрегатных многошпиндельных станках.

Диаметральные размеры отверстий получают обработкой соответствующим мерным инструментом (развертки, расточные блоки и расточные головки), установленным на расточных оправках или борштангах, а также односторонне расположенными резцами с точной регулировкой на размер.

Точность межосевых расстояний, параллельность и перпендикулярность осей и другие требования к расположению отверстий обеспечивают обработкой отверстий с направлением инструмента в кондукторе или обработкой отверстий без направления инструмента, с использованием универсальных способов координации положения инструмента.

В массовом и крупносерийном производстве основные отверстия корпусных деталей обрабатывают на многошпиндельных станках одновременно с двух или трех сторон заготовки. Положение отвер-

стий определяют соответственно расположенными в головках агрегатных станков шпинделями и инструментом, направляемым кондукторными втулками приспособления. Основные отверстия корпусов небольших габаритных размеров могут быть обработаны на вертикально-сверлильных станках с применением кондукторов и многошпиндельных головок и на радиально-сверлильных станках с применением поворотных кондукторов.

В серийном производстве основные отверстия в корпусных деталях обрабатывают на универсальных горизонтально-расточных станках с направлением инструмента по кондуктору. Межосевые расстояния и параллельность осей отверстий обеспечивают перемещением стола и направлением расточной скалки оправки по кондуктору, а перпендикулярность осей — поворотом стола станка с закрепленной на нем заготовкой. Чтобы повысить производительность труда при работе на расточных станках, применяют многошпиндельные расточные головки для одновременной обработки нескольких отверстий с параллельными осями.

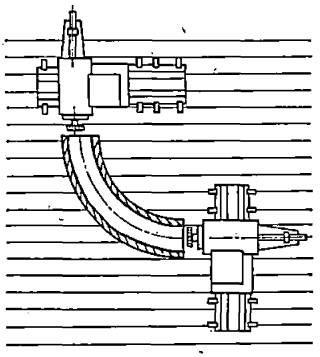


Рис. 262.

Обработку с направлением инструмента по кондукторным втулкам ведут на агрегатных станках и на универсальных расточных станках при установке обрабатываемых корпусов в кондукторе на установочные пальцы по двум базовым отверстиям, расположенным на плоской поверхности основания. Для обработки отверстий, расположенных на разной высоте, шпиндель устанавливают, перемещая шпиндельную бабку по колонне станка.

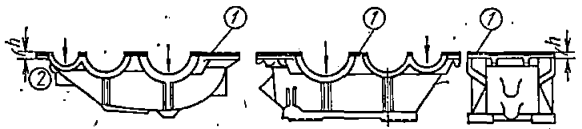
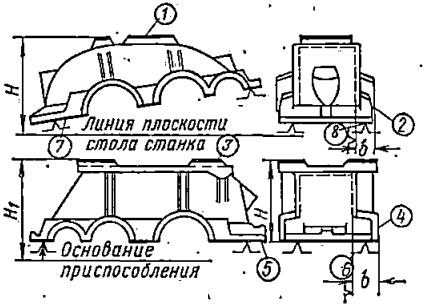
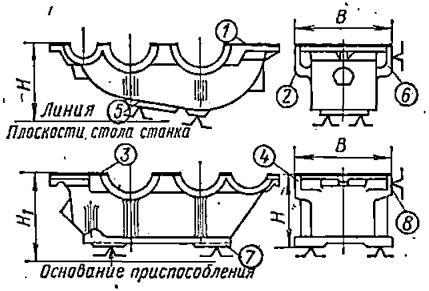
В тяжелом машиностроении кроме расточных станков с подвижным столом применяют расточные станки с неподвижным столом, у которых все необходимые рабочие движения совершает шпиндельная бабка. Расточные операции, производимые на этих станках, обычно не разделяют на предварительные и чистовые, а выполняют при одной установке. После выполнения всех переходов и по достижении заданных размеров и шероховатости поверхностей переходят к обработке отверстий на следующей оси.

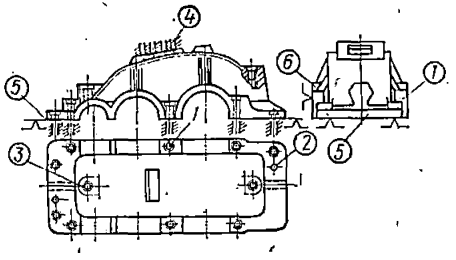
В тяжелом машиностроении применяют переносные станки и агрегатные установки (расточные, сверлильные, фрезерные и др.) для одновременной обработки корпусных деталей. На рис. 262 схематически показана установка из двух переносных универсальных расточных станков для обработки торцов разъема крупной заготовки.

§ 97. Обработка корпуса редуктора

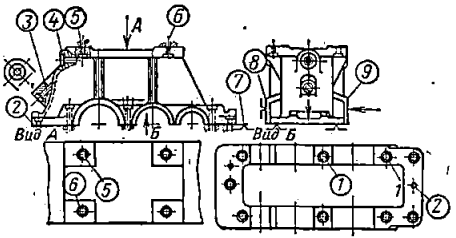
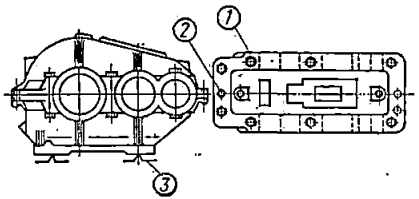
Рассмотрим технологическую схему обработки редуктора с учетом вышеприведенных общих положений обработки корпусных деталей. Корпуса редукторов подразделяют на корпуса, основные обрабаты-

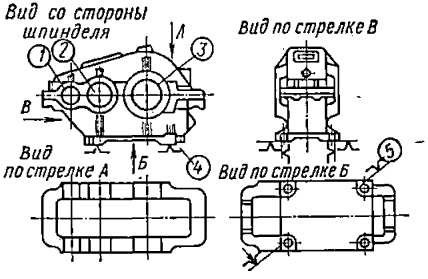
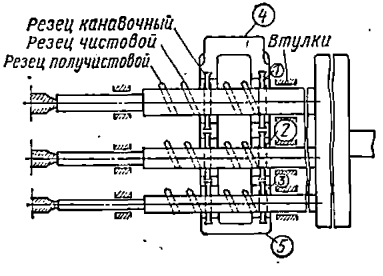
Таблица 28. Технологическая схема обработки корпуса редуктора

Наименование операций	Операционные эскизы	Установочная база	Вид оборудования
Строгание начерно одновременно поверхности (1), крышки и основания корпуса, выдержав размер h		Поверхность (2)	Продольно-строгальный станок
Фрезерование начисто одновременно поверхностей (1), (2), (3) и (4) крышки и основания корпуса в двухместном приспособлении четырьмя шпинделями, выдержав размеры H, H_1 и b (позиция 1)		Поверхности (5), (6), (7), (8)	Продольно-фрезерный станок
Фрезерование начисто одновременно поверхностей (1), (2), (3) и (4) крышки и основания корпуса в двухместном приспособлении четырьмя шпинделями, выдержав размеры H и B (позиция 2)		Поверхности (5), (6), (7), (8)	То же

Сверление отверстий (1), (2), (3) у крышки с применением зеркального кондуктора, зенкерование отверстий (2), (3), цекование отверстия (1), нарезание резьбы в отверстиях (2), (3). При повороте кондуктора сверление и нарезание резьбы в отверстии (4)	 (См. рисунок на стр. 394)	Поверхности (5), (6)	Радиально-сверлильный станок
Сверление отверстий (1), (2) у основания корпуса с применением зеркального кондуктора, развертывание отверстия (2) и цекование отверстия (1)			

Продолжение табл. 28

Наименование операций	Операционные эскизы	Установочная база	Вид оборудования
При повороте кондуктора на 45° сверление, зенкерование и цекование отверстия (3). При последующем повороте кондуктора на 45° сверление, цекование и нарезание резьбы в отверстии (4) При повороте кондуктора на 90° сверление, зенкерование и цекование отверстий (5) и (6)		Поверхности (7), (8), (9)	То же
Сборка корпуса с креплением болтами (1), развертывание двух конусных отверстий (2) с постановкой конических штифтов		Поверхность (3)	Сборочный пост

Растачивание начерно одновременно отверстия ①, ②, ③ тремя борштангами		Поверхности ④, ⑤	Горизонтально-расточный станок
Растачивание начисто одновременно отверстия ①, ②, ③ тремя борштангами		Поверхности ④, ⑤	То же

ваемые поверхности которых расположены относительно нескольких параллельных осей *(цилиндрические)* и относительно перекрещивающихся или пересекающихся осей *(червячные и конические)*.

В зависимости от числа передач зубчатых пар цилиндрические редукторы могут быть *одно-*, *двух-*, *трех-* или *многоступенчатыми* (т. е. с многократным понижением частоты вращения), а по расположению зубчатых пар — *горизонтальными*, *вертикальными* и *комбинированными*.

Конструктивно редукторы состоят из двух частей: основания и крышки, которые соединяются болтами и контрольными шпильками. Корпуса редукторов изготовляют преимущественно из чугуна СЧ15—32, реже из стального литья 25Л или сварными из стали Ст3. Вместо стальных отливок иногда применяют литье из модифицированного чугуна МСЧ32—52. Заготовки корпусов обычно подвергают искусственному старению после предварительной обработки основных поверхностей для снятия остаточных напряжений.

В табл. 28 приводится технологическая схема обработки корпуса цилиндрического редуктора с указанием последовательности выполнения операции, выбора основных баз и применяемого оборудования.

Глава XXXIV

ОБРАБОТКА ВАЛОВ

§ 98. Общие сведения

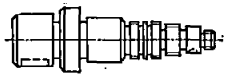
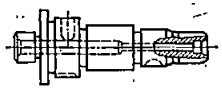
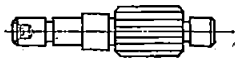
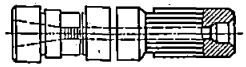
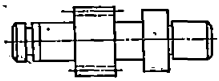
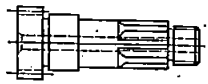
В конструкциях машин и механизмов основными деталями для передачи вращательного движения и крутящего момента являются валы. В процессе работы валы испытывают сложные деформации — кручение, изгиб, растяжение и сжатие. Поэтому, чтобы обеспечить нормальную работу деталей, передающих движение на вал, и сборочной единицы в целом, к валам предъявляют требования жесткости.

Валы очень разнообразны как по форме, так и по размерам, однако по технологическим признакам их можно привести к двум исходным формам: *гладкому* и *ступенчатому* валам.

Прямые гладкие валы постоянного диаметра имеют наиболее простую геометрическую форму, но их применение весьма ограничено. Наиболее распространены в машиностроении ступенчатые валы, основными технологическими параметрами которых являются: общая длина вала, количество ступеней, неравномерность их перепада по диаметрам, диаметр наибольшей ступени, наличие шлицев и их форма.

В табл. 29 приведены разновидности сплошных и полых ступенчатых валов.

Таблица 29. **Основные виды ступенчатых валов**

Конструктивные разновидности	Сплошные без центрального отверстия	Полые с центральным отверстием
Гладкие без шлицев и зубчатых венцов Гладкие с фланцем		
Шлицевые		
С зубчатым венцом		

Жесткость конструкции вала определяется геометрической формой (отношением длины вала к диаметру); увеличение жесткости вала за счет уменьшения длины не всегда возможно.

Наиболее технологичными являются валы с возрастающими или убывающими диаметрами ступеней со стандартными размерами. Участки вала, имеющие один и тот же номинальный диаметр, но разные посадки, должны быть разделены канавками, четко разграничивающими обрабатываемые поверхности от необрабатываемых, при этом желательно, чтобы обрабатываемые участки вала имели равные или кратные длины, а перепады ступеней вала были бы невелики.

Конструкция вала должна допускать обработку ступеней на проход и обеспечить удобный подход и выход режущего инструмента.

Валы изготовляют из сталей, обладающих высокой прочностью, малой чувствительностью к концентрации напряжений, хорошей обрабатываемостью и способностью подвергаться термической обработке. Этим требованиям отвечают конструкционные и легированные стали марок 35, 40, 45, 40Г и 50Г.

Валы с небольшим числом ступеней и незначительными перепадами диаметров изготовляют из штучных заготовок, отрезанных от горячекатаного или холоднотянутого прутка, а имеющие более сложную конфигурацию и с большим числом ступеней или со ступенями, значительно отличающимися по диаметрам, — из заготовок, получаемых штамповкой, поперечным прокатом или ротационным обжатием. Выбор рациональной заготовки должен быть обоснован технико-экономическими расчетами.

В массовом и крупносерийном производстве валы изготовляют из заготовок, обеспечивающих эффективное использование металла (коэффициент использования металла $K = 0{,}65...0{,}7$ и более) и значительное сокращение трудоемкости механической обработки.

Штучную заготовку из прутка заменяют штамповкой, если K повышается не менее чем на 5%. Заготовка, полученная радиальным

обжатием, наиболее близко приближается по конфигурации и размерам к готовой детали, при этом $K = 0{,}85...0{,}95$.

Заготовки небольших ступенчатых валов диаметром до 25 мм изготовляют сочетанием холодной высадки и прессованием (экструдинг-процесс), а именно: из штучной прутковой заготовки за несколько переходов высаживают ступенчатую часть, имеющую диаметр больший, чем исходная заготовка, а затем вытягивают ту часть, диаметр которой меньше размера исходной прутковой заготовки.

Механической обработке поверхностей вала предшествует образование единой базы для установки обрабатываемой заготовки вала на всех операциях. Этой базой вала являются торцевые поверхности и центровые отверстия, от точности выполнения которых зависит и точность исполнения последующих операций.

Основной технологической задачей, решаемой в процессе механической обработки ступенчатых валов, является обеспечение расположения осей всех обрабатываемых ступеней вала на одной геометрической линии в целях уменьшения радиального биения.

Ниже приводится описание механической обработки шпинделя станка как одного из сложных разновидностей ступенчатого вала, где к указанному прибавляется необходимость обеспечения расположения осей всех наружных поверхностей ступеней вала и ступенчатых участков центрального осевого отверстия на одной геометрической линии.

§ 99. Механическая обработка шпинделей

Шпиндель современного металлорежущего станка занимает особое место в кинематической цепи станка, так как от него зависит не только передача вращательного движения обрабатываемой заготовке или инструменту, но и качество обработки. Он вращается на опорных шейках, являющихся его основными базами, следовательно, от стабильности положения вращающегося в опорах шпинделя зависит качество обработки. Шпиндели работают на опорах качения и опорах скольжения. В первом случае к шпинделям предъявляют требования жесткости и прочности, а во втором, кроме этого, и износостойкости.

Шпиндели изготовляют из хромистых 20Х, 40Х, хромоникелевых и других легированных сталей. Для изготовления шпинделей некоторых тяжелых станков иногда применяют стальное литье или чугун.

В качестве заготовок для шпинделей используют поковки, штамповки, а для шпинделей небольших размеров — прутковый материал.

В современных конструкциях станков применяют шпиндели различных видов: со сквозными и несквозными отверстиями, а также сплошного сечения. В шпинделях со сквозными отверстиями при удалении металла с наружной и внутренней поверхностей возникает перераспределение внутренних напряжений, вызывающих в дальнейшем деформации, которые при работе шпинделя на станке могут значительно увеличиться. Уменьшения внутренних напряжений достигают технологичностью конструкции шпинделя, правильным выбором материала заготовки, соответствующей термообработкой заготовки и разделением операций на черновые, чистовые и отделочные.

Наиболее распространены полые шпиндели со сквозным осевым отверстием, которые отличаются и наибольшей сложностью в обработке (рис. 263).

В шпинделях допустимые отклонения от цилиндричности опорных шеек, центрирующих поясков и поверхности конусного отверстия не должны превышать 0,01 мм. Торцевое биение опорных фланцев относительно оси вращения не должно превышать 0,006...0,008 мм. Класс шероховатости поверхности опорных шеек должен быть в пределах 9-го, а у шпинделей шлифовальных станков — 10...11-го, остальные поверхности — 8-го класса.

Основными базами шпинделя являются его опорные шейки, но так как использовать их в качестве установочной базы в последующем не представляется возможным, то, пользуясь ими, вначале осуществляют подрезку (фрезерование) торцов и центрование; поверхности центров служат в дальнейшем технологическими базами. В табл. 30 приведена технологическая схема обработки шпинделя токарного станка.

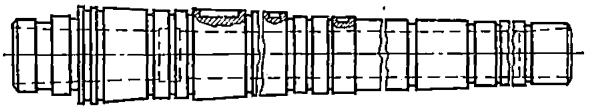


Рис. 263.

Черновую обработку осевого отверстия шпинделя обычно выполняют на специальных станках для глубокого сверления.

Технологическими базами являются поверхности двух шеек шпинделя, одну из которых зажимают в патроне станка, а другую устанавливают в люнет.

Осевые отверстия в зависимости от диаметра обрабатывают специальными сверлами (пушечными, перовыми, кольцевыми) и резцовыми головками. Отверстия больших диаметров обрабатывают многорезцовыми расточными головками.

После выполнения черновых операций заготовку шпинделя направляют на термическую обработку (нормализацию и улучшение), способствующую перераспределению внутренних напряжений (после удаления слоя металла) и улучшающую механические свойства и обрабатываемость заготовки. Термообработка завершается операцией правки на правильных станках. После правки производят чистовую обработку осевого отверстия на станках для глубокого сверления, так же как и при черновой обработке. Эта операция является очень ответственной, так как она должна обеспечить концентричность и соосность наружных поверхностей с поверхностями осевого отверстия, являющегося технологической базой при последующей обработке наружных поверхностей.

Чистовую обработку наружных поверхностей выполняют, так же как и черновую, на токарно-копировальных станках. Припуск, остав-

Таблица 30. **Технологическая схема обработки шпинделя токарного станка**

Наименование операции	Выбор баз	Назначение операции
Фрезерование торцов и центрование	Наружные поверхности необработанных шеек и торец	Обеспечение точного расположения центров, выбранных в качестве технологической базы
Черновое обтачивание наружных поверхностей шеек до фланца с предварительной его подрезкой	Поверхности центров	Обеспечение концентричности наружной поверхности шеек со стороны хвостовой части шпинделя
Чистовое обтачивание наружных поверхностей шеек до фланца под шлифование и прорезка канавок	То же	То же
Чистовое обтачивание наружной поверхности		То же, со стороны головной части шпинделя
Сверление осевого отверстия с одной стороны на длину l и с другой стороны на проход	Наружные поверхности обработанных шеек и торец	Обеспечение концентричности наружных и внутренних поверхностей
Рассверливание отверстий со стороны головной части шпинделя		То же
Чистовое растачивание конусных отверстий с обоих концов и подрезка торцов		Подготовка технологической базы для отделочной обработки поверхностей
Сверление отверстий и нарезание резьбы во фланце	Поверхность конуса отверстия	—
Термическая обработка: закалка и отпуск поверхностей внутреннего и наружного конусов и торца фланца на установке ТВЧ. Твердость HRC 48...52		—
Предварительное шлифование наружных поверхностей шеек с припуском	Поверхность конуса отверстия	Обеспечение концентричности шеек с осью шпинделя

Продолжение табл. 30

Наименование операции	Выбор баз	Назначение операции
Предварительное шлифование конуса на пробках	Поверхности зацентрованных отверстий пробок, вставленных в конусные отверстия	Обеспечение концентричности шеек с осью шпинделя
Нарезание резьбы и подрезка торцов навернутых на шпиндель упорных гаек Фрезерование шлицев Фрезерование шпоночной канавки и сверление двух отверстий		Обеспечение правильности расположения резьбы, шлицев и канавок относительно опорных шеек
Отделочное шлифование наружных поверхностей шеек Чистовое шлифование конуса		Обеспечение концентричности расположения шеек относительно оси шпинделя
Отделочное шлифование поверхности конуса под патрон и торца фланца	Наружные поверхности шеек	
Отделочное шлифование поверхности внутреннего конуса		То же

ляемый для чистовой обработки, составляет 0,25...0,4 мм на сторону. После чистовой обработки наружных и внутренних поверхностей обрабатывают шпоночные канавки. Точность углового расположения шпоночных канавок обеспечивают делительной головкой, если шпиндель устанавливают в центрах, или делительным диском, надеваемым на шейку шпинделя и закрепляемым стопорным болтом. Шпоночные канавки обрабатывают торцевыми, дисковыми или концевыми фрезами на универсальных фрезерных или на специальных фрезерно-шпоночных станках.

Далее обрабатывают отверстия во фланце, а также нарезают резьбу. В качестве технологических баз при сверлении и нарезании резьбы используют основные базы шпинделя. Соосность отверстий достигается накладными приспособлениями, центрируемыми по конусу фланца.

В зависимости от марки стали полностью обработанную (начерно и начисто) заготовку шпинделя подвергают термической обработке. Наиболее распространенным способом такой обработки является поверхностная закалка с применением нагрева токами высокой частоты (ТВЧ). При этом способе тепло образуется в поверхностном слое обрабатываемой заготовки, а основная масса металла вследствие кратковременности нагрева (0,5...20 с) не нагревается, что предохраняет заготовку от деформации и предотвращает образование окалины на поверхности. Глубину закаливаемого слоя можно автоматически

регулировать в пределах 1...5 мм. Твердость закаленного слоя HRC 48...52 постепенно снижается от наружной поверхности заготовки к ее оси.

К числу ответственных операций относится отделка наружных поверхностей шпинделя; эту операцию выполняют на шлифовальных станках 3161Т и обычно подразделяют на предварительную и окончательную. Между этими операциями шпиндели подвергают естественному старению путем вылеживания в течение 2...12 ч, а шпиндели высокоточных станков иногда подвергают искусственному старению.

Шпиндели шлифуют на круглошифовальных станках с применением мелкозернистых кругов. Для обеспечения соосности и концентричности наружных и внутренних поверхностей используют поверхности осевого отверстия шпинделя. Поверхности шеек шпинделя, которые работают в опорах скольжения, кроме шлифования подвергают суперфинишированию.

После отделки шеек шпинделя приступают к отделочной обработке осевого отверстия на внутришлифовальном станке, используя в качестве технологической базы поверхности передней опорной шейки, устанавливаемой в люнете, и шейки противоположного конца шпинделя, зажимаемой в самоцентрирующем трехкулачковом патроне.

Завершающей операцией обработки шпинделя является балансировка, при которой устраняют неуравновешенность, обеспечивают устойчивость относительного положения шпинделя на станке и плавность его вращения.

Глава XXXV
ОБРАБОТКА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

§ 100. Общие сведения

Технологический процесс изготовления зубчатых колес должен обеспечивать получение деталей, соответствующих условиям эксплуатации и требованиям точности при наименьших затратах. Основными факторами, влияющими на выбор технологического процесса, являются: конструкция и размеры зубчатого колеса; вид заготовки и материал; требования к точности и качеству термической обработки колеса; объем производства.

Детали класса «втулка» имеют центральное отверстие, концентричное наружной цилиндрической, конической или глобоидной поверхности. В одних случаях центральное отверстие является основной базой колеса, в других — технологической базой.

В деталях класса «вал» базой в большинстве случаев являются центровые отверстия. При малой жесткости детали или при ее большой длине за базу для зубонарезания принимают основную базу, или в виде цилиндрической шейки под подшипники, или специально создаваемую для базирования шейку.

Каждый вид зубчатых колес имеет свои технологические особенности изготовления. Вместе с тем различные зубчатые колеса, принад-

лежащие к тому или иному классу, могут иметь технологические процессы, несколько отличающиеся друг от друга по содержанию и последовательности выполнения ряда операций в зависимости от специализации производства. Так, например, методы изготовления зубчатых колес в авиационной промышленности существенно отличаются от методов, применяемых при производстве зубчатых колес аналогичных размеров для грузоподъемных машин. Технология производства турбинных передач существенно отличается от технологии производства таких же по размерам передач для прокатных станов и т. д. Таким образом, условия работы и требования конструкции данного механизма существенно влияют на технологический процесс изготовления зубчатого колеса.

В авиационных передачах зубчатые колеса должны при минимальных габаритах и массе передавать большие крутящие моменты, в то же время передача должна иметь особую точность и надежность. Эти требования заставляют авиационные зубчатые колеса делать из высоколегированных сталей с применением цементации и закалки, что усложняет технологический процесс, обусловливая необходимость введения шлифовальных операций (предварительных и окончательных), большего количества проверок и операций термообработки.

В автостроении, тракторостроении и станкостроении шлифованию зубьев подвергают только некоторые пары. Зато находят широкое применение такие процессы, как шевингование, притирка и т. д.

Зубчатые колеса общего машиностроения и подъемно-транспортных машин имеют другую специфику производства. Здесь преобладают колеса, изготовленные из улучшенных сталей, без последующей термообработки готовой детали. Технологический процесс при этом упрощается, однако требования к точности зубообрабатывающих станков и инструмента не снижаются.

Технологический процесс изготовления зубчатых колес можно подразделить на два этапа: *первый этап* состоит из комплекса операций, связанных с образованием геометрической формы заготовок зубчатого колеса до нарезания зубьев; *второй этап* включает зубонарезание и все последующие процессы, связанные с отделкой зубьев или восстановлением баз относительно нарезанного зубчатого венца.

Основная специфика изготовления зубчатых колес проявляется на втором этапе; в свою очередь, построение второго этапа процесса оказывает существенное влияние на порядок и содержание первого этапа.

В настоящем разделе приводится описание в основном технологии производства зубчатых колес в первом этапе, так как ранее уже были рассмотрены особенности обработки зубчатых поверхностей. Однако в приводимых схемах технологических процессов (примеров) соответственно указаны и зубообрабатывающие операции в той последовательности выполнения, которая вытекает из условий работы передачи (зубчатого колеса) и конструктивного назначения.

Материал зубчатых колес. Зубчатые колеса изготовляют из конструкционных сталей, серого чугуна, бронзы и синтетических материалов.

В автотракторостроении зубчатые колеса изготовляют из хромомарганцевых сталей 18ХГТ, 30ХГТ, хромомолибденовой стали 30ХМ. Сталь 18ХГТ благодаря наличию титана обладает повышенной прокаливаемостью, прочностью и меньшей чувствительностью к перегреву. Эта сталь отличается высокой способностью сопротивляться смятию. Сталь 30ХГТ содержит несколько больше углерода, чем сталь 18ХГТ, и широко применяется для сильно нагруженных зубчатых колес с модулем свыше 5 мм. Она обладает в термически обработанном состоянии высокими показателями прочности сердцевины в сечении зубьев.

Зубчатые колеса металлорежущих станков изготовляют из углеродистых сталей 45 и 50, а также из легированных хромистых сталей 40Х; реже применяют легированные стали 18ХГТ, 30ХГТ, 12ХН3А. и др. Получает распространение для изготовления зубчатых колес малолегированная борсодержащая сталь 20ХГР, 25ХГР. Введение небольших количеств бора (0,002...0,005%) значительно увеличивает прокаливаемость, прочностные характеристики и вязкость. После закалки и низкого отпуска твердость стали HRC 36...40.

Зубчатые колеса, изготовленные из синтетических материалов (текстолита, нейлона, капрона и др.), могут работать при высоких скоростях (до 40...50 м/с). Колеса из синтетических материалов обеспечивают бесшумность, плавность передачи и гашение вибрации.

Заготовки для несиловых зубчатых колес малых размеров изготовляют спеканием. Применение металлокерамики сокращает расход металла и снижает трудоемкость изготовления колес.

Заготовки зубчатых колес. Для изготовления зубчатых колес необходимы заготовки, по форме и размерам приближающиеся к форме и размерам готовой детали.

Качество заготовки влияет на технологический маршрут механической обработки и ее трудоемкость. Конфигурация колеса, его материал и объем выпуска предопределяют способ получения заготовки.

Заготовками для стальных зубчатых колес являются штампованные поковки и нормальный катаный пруток. Цилиндрические колеса диаметром до 50 мм и плоские колеса без ступицы диаметром до 65 мм целесообразно изготовлять из горячекатаного или холоднотянутого прутка или из штучной заготовки, отрезанной от прутка. Прутковые заготовки поступают на токарные и револьверные станки и многошпиндельные автоматы (крупносерийное и массовое производство), где производится предварительная черновая обработка с отрезкой штучных заготовок. Цилиндрические колеса с наружным диаметром более 50 мм обычно изготовляют из поковок, получаемых штамповкой на кривошипных ковочно-штамповочных прессах, молотах, горизонтально-ковочных машинах.

Процесс штампования на кривошипных ковочно-штамповочных прессах мощностью 1000...5000 тс является более совершенным, чем штамповка на молоте. На прессах можно получать заготовки, очень близкие по размерам и форме к готовой детали. При штамповке на прессе одновременно деформируется весь объем металла заготовки, который более интенсивно, чем на молоте, «течет» от центра к периферии.

Для штампованных на прессе заготовок припуски под механическую обработку устанавливают на 30...40% меньше, чем при штамповке на молоте, особенно по размерам, перпендикулярным плоскости разъема штампа. Коэффициент использования металла в заготовках, получаемых штамповкой на ковочно-штамповочных прессах, составляет 0,6...0,7.

Заготовки для зубчатых колес получают также и горячей высадкой на горизонтально-ковочных машинах из прутка. Для ряда конфигураций и размеров зубчатых колес заготовки, откованные на горизонтально-ковочной машине, имеют более высокий коэффициент использования металла, чем у штампованных на кривошипных прессах. На горизонтально-ковочной машине штамповкой производят не только образование наружной формы заготовки, но и сквозную прошивку центрального отверстия, тогда как при штамповке на молоте или прессе прошивка отверстия выносится в отдельную операцию. Коэффициент использования металла в заготовках, полученных на горизонтально-ковочных машинах, достигает 0,65...0,75.

Откованные или отштампованные заготовки подвергают термообработке — нормализации или отжигу — для снятия остаточных напряжений и улучшения их обрабатываемости. После термообработки заготовки очищают от окалины дробеструйной обработкой или травлением с последующим промыванием в горячей воде, а затем контролируют твердость, основные размеры, качество поверхности.

§ 101. Обработка цилиндрических зубчатых колес

Для выполнения требуемых эксплуатационных качеств в передачах с цилиндрическими зубчатыми колесами при их изготовлении должно быть обеспечено: получение соответствующей кинематической точности, плавности зацепления, необходимой величины и положения зоны прилегания боковых поверхностей, величины и постоянства боковых и радиальных зазоров в передаче, а также соответствующее качество боковых поверхностей зубьев. Кинематическая точность зубчатых колес зависит от точности станка и инструмента, участвующих в зубонарезании, и от точности установки заготовки в процессе зубонарезания. Правильность установки, или, как ее иногда называют, правильность базирования, в свою очередь зависит от точности заготовки колеса, поступающей на зубонарезание.

При изготовлении зубчатого колеса на первом этапе к технологическому процессу предъявляют определенные требования, от которых зависит качество готовых зубчатых колес. К основным требованиям относятся: а) обеспечение концентричности цилиндрической посадочной поверхности и наружных поверхностей; б) обеспечение перпендикулярности посадочной поверхности и по крайней мере одного базового торца, а в зубчатых колесах, нарезаемых пакетом, — двух базовых торцов. При этом также должна быть обеспечена перпендикулярность посадочной поверхности и конструктивного опорного торца.

Неконцентричность базовой и конструктивной посадочных поверхностей и поверхности выступов приводит к неравномерности радиаль-

ных зазоров в зацеплении, а для зубчатых колес, у которых толщина зуба задается для измерения зубомером, — к невозможности точного замера толщины зубьев. Неперпендикулярность посадочной поверхности и базового торца, как и непараллельность торцов, приведет к искривлению оправки, на которую устанавливается для нарезания зубчатое колесо, а само зубчатое колесо будет иметь погрешности, которые выразятся в радиальном биении зубчатого венца и в искажении формы и положения пятна контакта.

Таким образом, точность зубчатого колеса зависит не только от самого процесса зубонарезания, выполняемого во втором этапе изготовления, но и в значительной мере от точности заготовки, формирование которой производится на первом этапе.

Действующие ГОСТы на зубчатые колеса лимитируют допуски и предельные отклонения только для готовых зубчатых колес, поэтому точность изготовления заготовок может быть установлена в зависимости от принятого технологического процесса обработки и методов контроля.

Требования к базовым поверхностям заготовки должны устанавливаться отраслевыми или заводскими нормалями.

Для обеспечения заданной точности готовых зубчатых колес у заготовок нормируются следующие параметры: у насадных зубчатых колес — размеры и форма отверстия (у валковых шестерен — опорные шейки вала); наружный диаметр заготовки; радиальное биение наружной поверхности заготовок; торцевое биение базового торца заготовки (торца, по которому заготовка базируется на станке при зубонарезании).

Отверстия в заготовке являются технологической базой при нарезании зубчатого колеса, а в готовом зубчатом колесе — основной, измерительной и сборочной базами, т. е. отверстие определяет точность обработки при зубонарезании и точность измерения при контроле готового зубчатого колеса. Таким образом, на заготовках для зубчатых колес 3...5-й степеней точности диаметры базовых отверстий следует выполнять не грубее 1-го класса точности (НКМ 1011), 6-й и 7-й степеней точности — не грубее 2-го класса (ОСТ 1012), а для колес степени точности 8-й и ниже — не грубее 3-го класса точности (по ОСТ 1013 и НКМ 1016). Шероховатость поверхности базового отверстия зубчатого колеса следует выдерживать в первом случае не ниже 8-го класса; во втором — не ниже 7-го класса и со степенью точности 8...10-й — не ниже 6-го класса.

Отклонения по наружному диаметру заготовки зубчатого колеса сами по себе не влияют на точность зубчатой передачи. Но так как наружная поверхность часто используется как измерительная база при измерении на готовом зубчатом колесе ряда параметров, а также как измерительная база при измерении на зуборезном станке, то следует ограничивать отклонения наружного диаметра в зависимости от условий использования наружной поверхности. Так, отклонение и допуск на наружный диаметр заготовки могут быть назначены по 7-му классу точности (ОСТ 1010 или ГОСТ 2689—54) при условии, что отклонение наружного диаметра для зубчатых колес с 3...7-й сте-

пенями точности не будет превышать 0,1 и 0,2m для колес более грубой степени точности. Допускаемые отклонения задаются в тело заготовки.

При использовании наружной поверхности заготовки в качестве измерительной базы для выверки положения заготовки при зубонарезании рекомендуется ее радиальное биение ограничивать относительно оси колеса; при этом допускаемая величина радиального биения заготовки $F_{rr_д}$ должна составлять часть от допуска на радиальное биение зубчатого венца готового колеса F_{rr}, т. е. $F_{rr_д} = (0{,}5...$ $...0{,}7)\ F_{rr}$.

Если наружная поверхность не используется в качестве базы, то допускаемая величина радиального биения заготовки $F_{rr_д}$ может быть удвоена, но не должна превышать допуска на диаметр заготовки.

Торцевое биение базового торца заготовки оказывает влияние на показатели контакта зубьев, в связи с этим величина допускаемого торцевого биения $F_т$ заготовки прямозубого колеса должна составлять лишь часть допуска на направление зуба $F_β$, а для косозубого колеса средних и крупных модулей — часть от предельного отклонения осевого шага $F_{рхн}$.

На выбор схемы первого этапа технологического процесса изготовления зубчатого колеса влияет конструкция зубчатого колеса. Так существенно различаются схемы технологических процессов изготовления зубчатых колес, принадлежащих к классам «втулка» и «вал». Это различие распространяется как на первый, так и на второй этапы технологического процесса и будет существовать независимо от других конструктивных особенностей зубчатого колеса, а также типов и видов производства.

Принадлежность зубчатого колеса к деталям класса «втулка» с учетом особенностей конструкции позволяет выбрать определенную схему технологического процесса его изготовления. При выборе схемы обработки зубчатого колеса руководствуются следующими соображениями: за первоначальную базу обработки колеса выбирают необработанные поверхности, которые должны быть концентричны обрабатываемым поверхностям, а необрабатываемые торцевые плоскости штамповки должны быть параллельны обрабатываемым торцевым плоскостям.

От первоначальных установочных баз производится первая операция, которая заключается в сверлении и развертывании центрального отверстия и подрезания с той же установки одного из торцов ступицы. Цель этой операции — подготовка центрального отверстия под протягивание и создание обработанной торцевой базы для последующей операции. Вторая операция — протягивание — выполняется от созданной торцевой базы и сводится к образованию шлицевого или другого профиля отверстия. Базой для дальнейшей обработки уже будут являться посадочная поверхность отверстия (шлицев) и торец.

Третья и четвертая операции являются заключительными для первого этапа и сводятся к чистовой обработке зубчатого колеса под нарезание зубьев; выполняется она с базированием по элементам шли-

цевого соединения или другого профиля отверстия. В этой операции должны быть особо соблюдены требования к заготовке под нарезание, изложенные выше и сводящиеся к обеспечению концентричности наружной поверхности шестерни — посадочной поверхности отверстия — и перпендикулярности обработанных торцевых плоскостей относительно оси отверстия.

Пятая операция — предварительное и чистовое нарезание зубьев — выполняется на зубофрезерном станке. Базой для этой операции являются посадочный диаметр шлицевого или другого профиля отверстия и один из торцов зубчатого венца. Шестая, седьмая и двенадцатая операции относятся к отделочным видам обработки. Здесь базой являются те же поверхности.

В табл. 31 приводится в качестве примера технологическая схема изготовления зубчатого колеса (класс «втулка»).

Механическую обработку зубчатых колес класса «вал» обычно производят в центрах и только в некоторых операциях, чтобы повысить надежность и жесткость крепления детали, ее закрепляют, используя другие поверхности.

Первая операция при обработке зубчатого колеса класса «вал» — подрезание торцов и зацентровывание заготовки. Эту операцию желательно выполнять на станках, позволяющих производить фрезерование торцов и центрование детали с одной ее установки. Со второй по пятую операции сводятся к предварительной и получистовой токарным обработкам детали с установкой на центры станка. Седьмая и восьмая операции — сверление и нарезание резьб в двух отверстиях в торце — завершают первый этап изготовления шестерни. Девятая операция — предварительное нарезание зубьев — выполняется зубофрезерованием с установкой детали в центрах. Десятая операция — шевингование — также производится с базированием на центры. Пятнадцатая операция — цементация и закалка шестерни. После термической обработки производится зачистка или шлифование центров. Эта операция является обязательной. Восемнадцатой и девятнадцатой операциями — шлифованием цилиндрических шеек и торца — заканчивается процесс отделочной обработки, после чего фрезеруются шлицы и нарезается резьба на хвостовике.

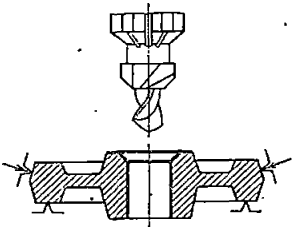
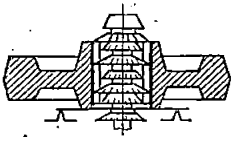
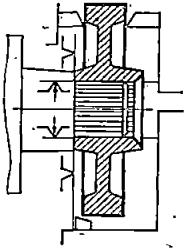
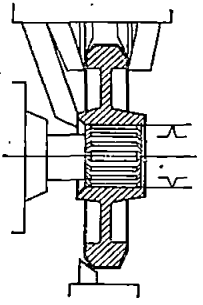
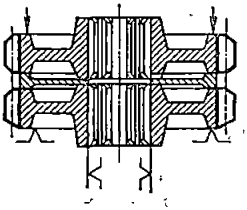
В табл. 32 приводится технологическая схема изготовления зубчатого колеса (класса «вал»).

Технологические процессы включают необходимое число слесарных и контрольных операций, выполняемых на определенных стадиях обработки детали.

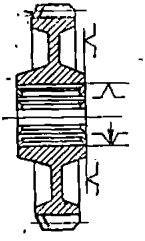
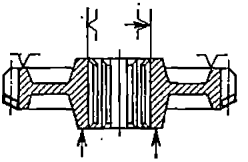
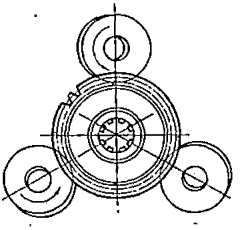
Описанные примерные схемы технологических процессов являются типовыми для различных видов и типов производства.

Повышение требований к качеству поверхности зубьев и к точности элементов зацепления зубчатого колеса может вызвать необходимость включения в технологический процесс дополнительных отделочных, термических и контрольных операций; различные операции могут укрупняться или расчленяться в зависимости от вида производства, но принципиальная схема, последовательность этапов и порядок операций будут оставаться без изменения.

Таблица 31. Технологическая схема изготовления зубчатого колеса класса «втулка»

№ операции	Содержание операции	Эскиз	Оборудование
1	Сверление центрального отверстия, зенкование торца и снятие фаски		Вертикально-сверлильный станок
2	Протягивание круглого и шлицевого отверстия		Протяжной станок
3	Предварительная токарная обработка		Многорезцовый токарный станок
4	Чистовая токарная обработка		То же
5	Нарезание зубьев		Зубофрезерный станок

Продолжение табл. 31

№ операции	Содержание операции	Эскиз	Оборудование
6	Закругление зубьев		Зубозакругляющий станок
7	Шевингование зубьев		Шевинговальный станок
12	Притирка зубьев		Зубопритирочный станок

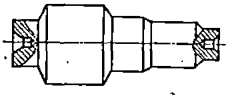
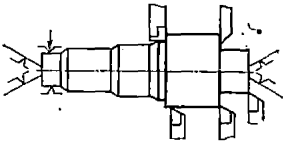
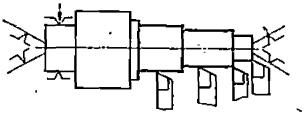
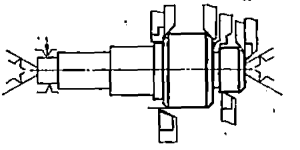
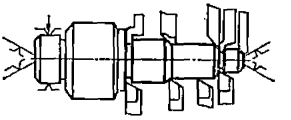
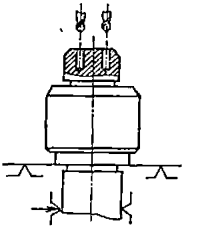
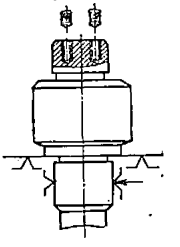
Примечание. Отсутствующие в таблице номера операций означают: 8 — слесарная зачистка; 10 — термическая обработка; 11 — калибровка шлицев; 9, 14 — контроль; 13 — испытание на шум.

Цилиндрические зубчатые колеса имеют весьма сложную конструкцию (наличие дополнительных шеек, отверстий и т. д.), и выбор полной схемы построения технологического процесса должен производиться на основании тщательного анализа технических требований чертежа и возможностей производства.

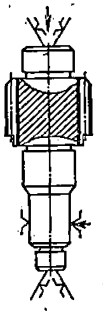
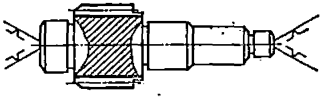
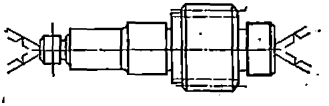
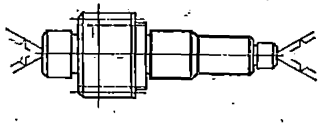
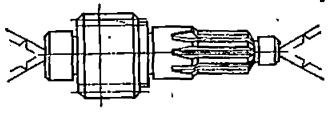
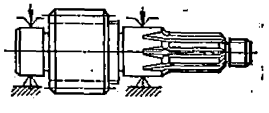
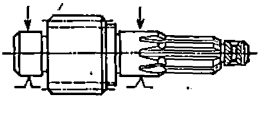
На особом месте среди зубчатых колес класса «втулка» находятся зубчатые венцы внутреннего зацепления больших размеров, базирующиеся при работе по наружному диаметру детали. Детали такого типа имеют несколько отличную схему технологического процесса. Отличие это заключается в том, что базовую цилиндрическую поверхность, поверхность выступов зубьев и торец обрабатывают обычно за одну установку детали, а базой при нарезании зубьев будет уже наружная поверхность, которой деталь устанавливается в приспособление или по которой выверяется установка детали на планшайбе зуборезного станка с применением индикатора.

Основными видами приспособлений, применяемых в операциях на первом этапе, являются токарные оправки для обточки цилиндри-

Таблица 32. **Технологическая схема изготовления зубчатого колеса класса «вал»**

№ операции	Содержание операции	Эскиз	Оборудование
1	Фрезерование и центрование торцов заготовки		Фрезерно-центровочный станок
2	Предварительная токарная обработка левого конца		Токарный многорезцовый станок
3	Предварительная токарная обработка правого конца		То же
4	Чистовая токарная обработка левого конца		» »
5	Чистовая токарная обработка правого конца		» »
7	Сверление двух отверстий на торце		Вертикально-сверлильный с двухшпиндельной головкой
8	Нарезание резьб в двух отверстиях		То же

Продолжение табл. 32

№ операции	Содержание операции	Эскиз	Оборудование
9	Зубонарезание		Зубофрезерный станок
10	Шевингование		Зубошевинговальный станок с приспособлением для бочкообразного зуба
18	Шлифование левой шейки и торца		Круглошлифовальный станок
19	Шлифование правой шейки и шейки под нарезание шлицев		То же
20	Фрезерование шлицев		Горизонтальный шлицефрезерный станок, модель 5618
21	Нарезание резьбы		Резьбофрезерный станок
22	Сверление и зенкование отверстия с двух сторон		Вертикально-сверлильный станок

Примечание. Отсутствующие в таблице номера операций означают: 6, 11, 23 — слесарные; 14, 25 — упаковка; 16 — распаковка; 13, 24 — контрольные; 12 — промывка; 15 — термообработка; 17 — зачистка и промывка центров.

ческих шестерен класса «втулка», обеспечивающие получение концентричности наружной и внутренней цилиндрических поверхностей заготовки зубчатого колеса, приспособления для установки зубчатого колеса на внутришлифовальном станке при шлифовании отверстия и торца.

На рис. 264 приведена наиболее распространенная конструкция центровой оправки. Оправка одним концом устанавливается в коническую втулку шпинделя станка и другим концом на центр задней бабки. Вращение оправки осуществляется муфтой с двумя торцевыми пазами (связанной с фланцем шпинделя) через палец, запрессованный в оправку и входящий в пазы муфты.

Чтобы исключить влияние возможной непараллельности правого торца заготовки левому опорному торцу при закреплении детали, под гайку подкладывается сферическая шайба.

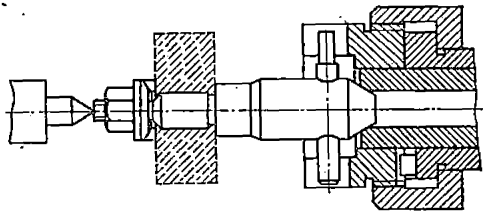


Рис. 264.

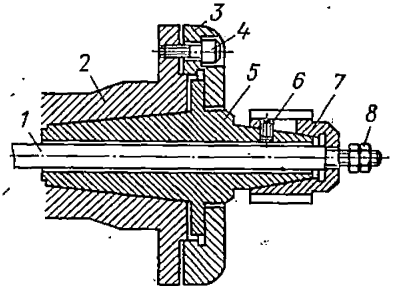


Рис. 265.

В массовом и крупносерийном производстве находят также применение шпиндельные оправки с винтовым и пневматическим зажимами. На рис. 265 изображена шпиндельная цанговая шлицевая оправка с пневмозажимом.

Корпус оправки *5* вставляется в конус шпинделя *2* и закрепляется шайбой *3*, прижимаемой к фланцу шпинделя тремя винтами *4*. Шлицевая цанга *7*, сидящая на конусе оправки, имеет четыре разреза и один замкнутый паз, через который проходит винт *6*, удерживающий цангу от спадания с корпуса. Тяга *1*, связанная с пневмоцилиндром, проходит через оправку и цангу, а на ее резьбовой хвост навинчены гайки *8*, с помощью которых регулируется зажатие цанги. При движении тяги влево она натягивает цангу на конус и закрепляет деталь; при движении тяги вправо она своим буртом стягивает цангу с корпуса оправки, в результате чего цанга получает возможность сжаться и освободить деталь.

Преимущество оправок такой конструкции в том, что при серийном производстве на один и тот же корпус оправки могут надеваться цанги различного диаметра и перестройка обработки с одной детали на другую производится только заменой цанги.

Цилиндрические зубчатые колеса класса «втулка» после закалки обычно приходится шлифовать по внутреннему диаметру и торцу,

а зубчатые колеса с 6...7-й степенями точности шлифуют и по поверхности зубьев.

Отверстия и торцы шлифуют на внутришлифовальных станках с приспособлением для шлифования торцов. Шлифование отверстия может предшествовать шлифованию зубьев или, в случае если зубья не шлифуются, может являться окончательной операцией.

В том или другом случае шлифованное отверстие должно быть концентричным начальной (делительной) окружности колеса и за базу шлифования должен приниматься начальный (делительный) диаметр.

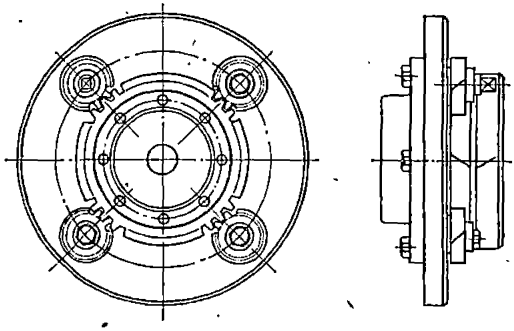


Рис. 266.

Соответствующая установка зубчатого колеса при шлифовании выполняется с применением специальных приспособлений. Обычно такие приспособления представляют собой точный трехкулачковый патрон и сепаратор с тремя роликами, с помощью которых шлифуемое зубчатое колесо закрепляется в кулачках патрона. В других конструкциях приспособлений деталь зажимается шестью роликами, прикрепленными к кулачкам, сводимым к центру перемещением обоймы с конической внутренней поверхностью. Некоторые конструкции патронов предусматривают центрирование по профилям зубьев и одновременно прижим к торцу колеса.

На рис. 266 показано приспособление, используемое для установки на шлифовальном станке по начальному диаметру зубчатого венца. На планшайбе приспособления укреплены четыре шестерни, изготовленные с небольшим эксцентриситетом; между ними помещается шлифуемое зубчатое колесо. При поворачивании специальным ключом одной из шестерен происходит некоторый поворот закрепляемой детали и трех других шестерен до тех пор, пока деталь не зажмется между шестернями.

§ 102. Обработка конических зубчатых колес

Конические зубчатые колеса, так же как и цилиндрические, могут относиться к деталям классов «втулка» и «вал», что определяет выбор принципиальной схемы технологического процесса их изготовления. Вместе с тем конструкция конических зубчатых колес и их зацепление имеют свои специфические особенности, существенно влияющие на построение отдельных операций технологического процесса.

Условием правильной работы конической зубчатой пары является совмещение вершин делительных конусов в одной точке; смещение ведет к нарушению правильности зацепления и искажению формы и положения пятна контакта.

У заготовок конических зубчатых колес нормируются следующие параметры (рис. 267): посадочное отверстие d у насадных колес (класс «втулка» — рис. 267, *а*) или базовые шейки d_1 и d_2 у валковых шестерен (класс «вал» — рис. 267, *б*), опорные торцы; расстояние $M_к$ от базового торца до линии пересечения переднего и заднего конусов; наружный диаметр D_e; ширина венца B; угол переднего $\varphi_в$ и заднего $\varphi_з$ конуса.

Допуски на диаметр базового отверстия (или шейки) для заготовок конических колес, а также предельные отклонения наружного диаметра заготовки и торцевое биение базового торца назначаются исходя из тех же соображений, что и при назначении допусков на заготовки для цилиндрических колес.

В том случае, когда торец заготовки конического колеса используется при нарезании колеса в качестве технологической базы, кроме

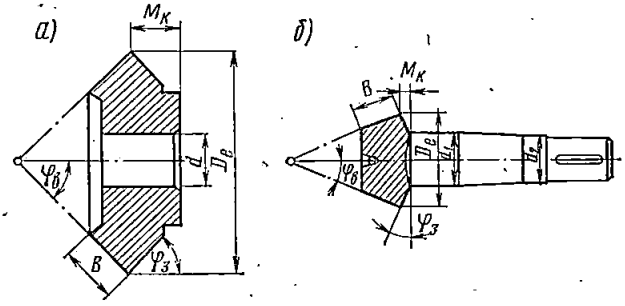


Рис. 267.

допусков на торцевое биение задают допуски на постоянство положения наружного конуса относительно базового торца (расстояние $M_к$).

Допуск E_D' на биение наружного конуса заготовки рекомендуется назначать как часть допуска (0,5...0,7) толщины зуба δS.

Первый этап технологического процесса изготовления конических зубчатых колес выполняется по указанным выше для деталей классов «втулка» и «вал» принципиальным схемам. Наиболее значимой в первом этапе является чистовая токарная обработка заготовки зубчатого колеса. В большинстве случаев чистовая токарная обработка конических колес производится или в две операции, или по крайней мере за два установа. Первая чистовая токарная операция (или первый установ) состоит из обработки базового торца и наружной поверхности колеса; во второй токарной операции (или втором установе) производится обточка конусов и других поверхностей. При этом за базу принимают торцевые поверхности, обработанные в первой операции. Для конических зубчатых колес с косыми зубьями, имеющих опорный монтажный торец со стороны малого дополнительного конуса, обработка опорных поверхностей производится во второй операции. Для уменьшения перестроек резцов на размер иногда обтачивание наружного конуса выделяют в отдельную операцию.

В некоторых случаях, когда обработка наружных поверхностей конического зубчатого колеса выполняется с использованием гидрокопировальных устройств, допускается одновременная обработка конусов и опорных торцов.

Правильность угла и расстояние вершины наружного конуса от монтажного торца проверяются в массовом и крупносерийном производстве предельными скобами — проймами, в мелкосерийном и индивидуальном производстве — шаблонами на углы.

Конические зубчатые колеса класса «втулка» в первой чистовой токарной операции обтачиваются обычно на разжимной шпиндель-

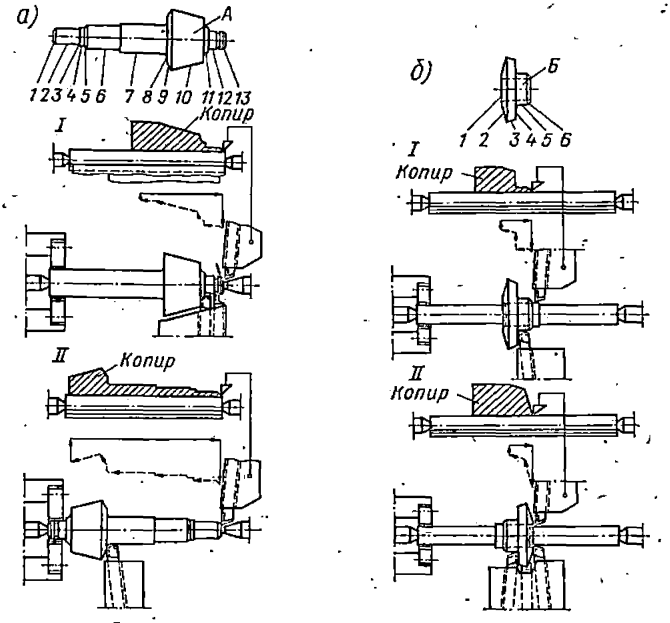


Рис. 268.

ной оправке; вторая чистовая операция выполняется также на шпиндельной разжимной или центровой с упором оправке.

В крупносерийном и массовом производстве для обработки заготовок конических зубчатых колес применяют многорезцовые станки моделей 1720, 1730 и 1722, вертикальные многошпиндельные токарные автоматы моделей 1282, 1А283, 1284 и др.

На рис. 268 приведены схемы наладки обработки заготовок конических зубчатых колес класса «вал» (*А*) и класса «втулка» (*Б*) на токарно-гидрокопировальном полуавтомате 1722. На рис. 268, *а* на позиции *I* приведена схема обработки одного конца (поверхности *10...13*), а на позиции *II* — схема обработки другого конца (поверхности *1...9*). На рис. 268, *б* на позиции *I* приведена схема обработки одной стороны (поверхности *4...6*), а на позиции *II* — схема обработки другой стороны (поверхности *1...3*).

На рис. 269 приведена схема наладки обработки заготовки зубчатого колеса класса «втулка» на восьмишпиндельном вертикальном полуавтомате в два цикла. На рабочих позициях *III*, *V*, *VII* после загрузки на позиции *I* обрабатывается одна сторона заготовки, на загрузочной позиции *II* заготовка переворачивается и на рабочих позициях *IV*, *VI* и *VIII* ведется обработка другой стороны заготовки.

В этой наладке для обработки конических поверхностей применены специальные суппорты с наклонными направляющими, а обра-

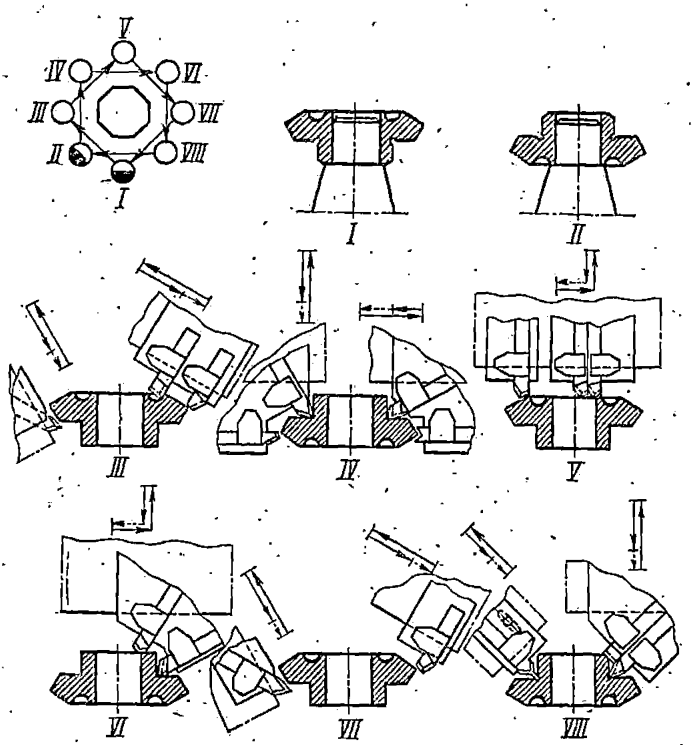


Рис. 269.

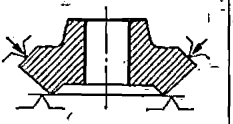
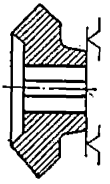
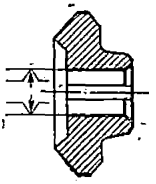
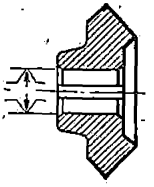
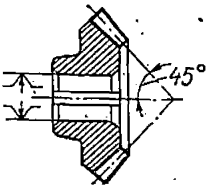
ботка канавки на позиции *VIII* производится с помощью специальной копирной державки.

Предварительное фрезерование впадин прямозубых конических колес производится на специальных станках или на приспособлениях к горизонтально-фрезерным станкам. Специальные станки производят фрезерование впадин дисковыми фрезами и имеют полуавтоматический цикл работы.

В табл. 33 приводится технологическая схема изготовления конического колеса (класса «втулка»).

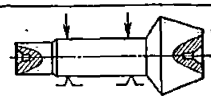
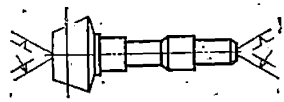
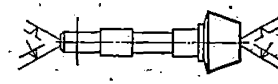
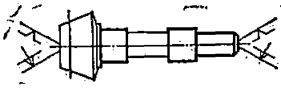
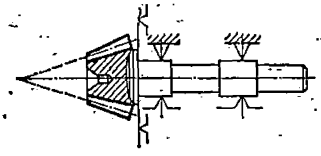
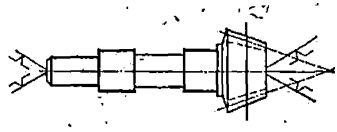
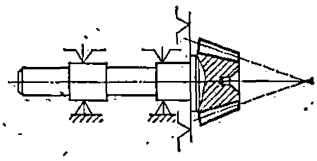
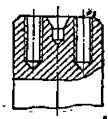
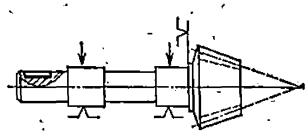
Конические зубчатые колеса, подвергающиеся термической обработке (цементации и закалке), во втором этапе технологического процесса изготовляются в такой последовательности: 1) предваритель-

Таблица 33. **Технологическая схема изготовления конического зубчатого колеса класса «втулка»**

№ операции	Содержание операции	Эскиз	Оборудование
1	Сверление центрального отверстия и подрезание торца		Вертикально-сверлильный станок
2	Протягивание круглого отверстия и шпоночного паза (последовательно в две операции)		Протяжной станок
3	Обтачивание наружной поверхности, подрезание базового торца и снятие фасок		Токарный станок
4	Обтачивание конусов, подрезание второго торца, снятие фасок (в одну или две-три операции)		То же
5	Предварительное нарезание зубьев		Горизонтально-фрезерный станок
6	Чистовое строгание зубьев		Зубострогальный станок

Примечание. Отсутствующие в таблице номера операций означают: 7 — обкатка; 8 — слесарная обработка; 9 — контроль.

Таблица 34. **Технологическая схема изготовления конического зубчатого колеса класса «вал»**

№ операции	Содержание операции	Эскиз	Оборудование
1	Фрезерование и центрование торцов		Фрезерно-центровочный полуавтомат
2	Токарная обработка хвостовика		Многорезцовый станок
3	Токарная обработка «головки» колеса		
4	Предварительное шлифование шеек		Круглошлифовальный станок
5	Предварительное нарезание зубьев		Зуборезный станок
6, 7	Чистовое нарезание вогнутой и выпуклой сторон зубьев		
10	Чистовое шлифование шеек		Круглошлифовальный станок
11	Шлифование зубьев		Зубошлифовальный станок
12	Сверление и нарезание резьбы в двух торцевых отверстиях		Вертикально-сверлильный станок
13	Фрезерование шпоночного паза		Шпоночно-фрезерный станок

Примечание. Отсутствующие в таблице номера операций означают: 8 — термообработка; 9 — зачистка центров; 14 — контроль.

ное нарезание зубьев; 2) чистовое нарезание зубьев; 3) цементация; 4) токарная обработка незакаливаемых поверхностей (операция применяется только при снятии цементационных припусков); 5) закалка; 6) шлифование отверстия торца для зубчатых колес класса «втулка» или шлифование шеек для зубчатых колес класса «вал»; 7) калибрование внутренних шлицев или шпоночных пазов; 8) притирка на притирочных станках или шлифование поверхности зубьев.

В табл. 34 приводится технологическая схема изготовления конического зубчатого колеса с круговыми зубьями (класс «вал»).

§ 103. Обработка червячных пар

Червячная пара состоит из червяка и червячного колеса. Как червяк, так и червячное колесо могут иметь различное конструктивное оформление. Червяк может быть насадным на вал, и в этом случае он будет относиться к деталям класса «втулка», но может быть выполнен и сплошным в виде вала.

Червячное колесо обычно изготовляется сборным из двух деталей: венца и ступицы; только в передачах малых размеров встречаются червячные колеса, выполненные в виде одной детали. Такая конструкция колес объясняется тем, что в червячных передачах имеет место скольжение поверхностей витков червяка и зубьев колеса с высокими скоростями, вследствие чего в качестве материала для червячного колеса используется антифрикционный чугун или бронза, обладающие улучшенными антифрикционными свойствами, в то время как сама ступица может изготовляться из менее дефицитного и более дешевого материала.

Указанные конструктивные особенности червяков и червячных колес определяют выбор принципиальной схемы технологического процесса их изготовления. Обработка червяков в первом этапе технологического процесса принципиально не отличается от изготовления цилиндрических зубчатых колес соответствующего класса. Схема обработки в первом и во втором этапах червячных колес сходна с обработкой цилиндрических или конических колес в осевой установке червячного колеса (а в глобоидных передачах — и червяка) при токарной и зубообрабатывающей операциях. Второй этап технологического процесса изготовления червяков и червячных колес имеет свои специфические особенности, не свойственные другим видам передач и в значительной мере зависящие от выбранной геометрии зацепления пары.

Рекомендуемые предельные отклонения наружного диаметра D_{e_1} и допуск на биение $F_{r_{r_{д1}}}$ наружного цилиндра заготовки червяка при использовании его в качестве измерительной базы указываются относительно монтажных поверхностей червяка — шеек или посадочного отверстия — и составляют часть допуска на толщину витка δS ($\delta D_{e_1} \leqslant 0{,}69\delta S$; $F_{r_{r_{д1}}} \approx 0{,}34\delta S$).

Если в качестве измерительной базы принимают рабочую ось червяка, допуск на радиальное биение наружного цилиндра червяка должен составлять часть (0,5...0,7) от допуска на радиальное бие-

ние $F_{o_{r_1}}$ витков червяка. К базовым поверхностям заготовок червячных колес предъявляют такие же точностные требования, как и для заготовок цилиндрических зубчатых колес.

Однако к заготовкам червячных колес предъявляют и некоторые дополнительные требования, обусловленные спецификой червячного колеса. Заготовки червячных колес имеют на наружных поверхностях, на которых нарезаются зубья, проточку с радиусом R. В связи с тем, что при нарезании зубьев ось фрезы должна совмещаться со средней плоскостью заготовки, необходимо регламентировать расстояние от базового торца заготовки до средней плоскости проточки и колебание этого размера. При больших колебаниях этого размера в партии заготовок возникает необходимость перед нарезанием каждого колеса производить настройку фрезерного суппорта станка, добиваясь совмещения оси фрезы с центром радиусной выточки.

Обработка заготовок червяков и червячных колес производится на универсальных токарных и карусельных станках. Для обработки заготовок глобоидных червячных пар целесообразно использование гидрокопировальных устройств или специальных поворотных суппортов.

Выбор схемы технологического процесса изготовления червяков и червячных колес производится с учетом: а) конструкции детали (принадлежности ее к определенному типовому классу), геометрии боковых поверхностей витков червяка, материала червяка, вида термообработки, степени точности; б) объема производства и его специализации.

Наиболее распространенными являются следующие схемы технологических процессов (табл. 35, 36, 37).

Для второго этапа изготовления несборных червячных колес остается действительной только последняя часть процесса, начиная с четвертой операции.

Таблица 35. **Схема технологического процесса изготовления червяков из улучшенных сталей с твердостью поверхности витков HRC 32...38**

Червяк класса «втулка»		Червяк класса «вал»	
№ операции	содержание операции	№ операции	содержание операции
1	Сверление центрального отверстия и подрезание одного торца	1	Фрезерование торцов и центрование заготовки
2	Развертывание или протягивание отверстия	2	Токарная обработка под нарезание витков
3	Токарная обработка под нарезание витков	3	Нарезание витков
4	Нарезание витков	4	Шлифование шеек
5	Полирование витков или шлифование	5	Фрезерование шлицев или шпоночных пазов
6	Контроль	6	Полирование витков или шлифование
		7	Контроль

Таблица 36. Схема технологического процесса изготовления червяков с твердостью на поверхности витков HRC ≥ 56 (кроме азотированных)

Червяк класса «втулка»		Червяк класса «вал»	
№ операции	содержание операции	№ операции	содержание операции
1	Сверление центрального отверстия и подрезание одного торца	1	Фрезерование торцов и центрование
2	Развертывание или протягивание отверстия	2	Токарная обработка под нарезание витков
3	Токарная обработка под нарезание витков	4	Слесарная обработка
4	Нарезание витков	5	Термическая обработка (цементация и закалка ТВЧ)
5	Слесарная обработка	6	Притирка центров
6	Термическая обработка (цементация и закалка или закалка ТВЧ)	7	Шлифование шеек и базовых торцов
7	Шлифование отверстия и торцов (для цементированных червяков)	8	Шлифование витков червяка (для цементированных или каленных в ванне червяков)
8	Шлифование витков червяка (для цементированных червяков)	8а	Полирование или шлифование витков (после закалки ТВЧ)
8а	Полирование и шлифование витков (после закалки ТВЧ)	9	Контроль
9	Контроль		

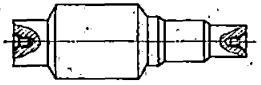
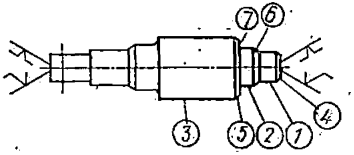
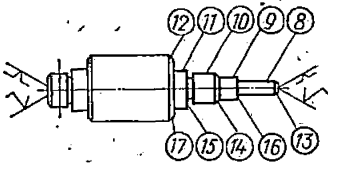
В табл. 38 и 39 приводятся технологические схемы изготовления червяков и червячных колес.

Таблица 37. Схема технологического процесса изготовления сборного червячного колеса

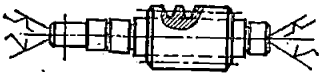
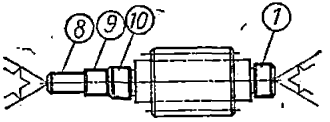
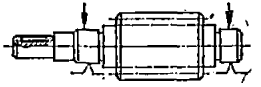
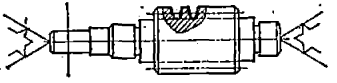
№ операции	Содержание операции	№ операции	Содержание операции
	Ступица		
1	Сверление, зенкерование и развертывание отверстия и подрезание торца	3	Штифтование венца на ступице
2	Токарная обработка под посадку венца	4	Нарезание зубьев червячной фрезой
	Венец	5	Шевингование зубьев (операция выполняется, если нарезание ведется червячной фрезой с оставлением соответствующего припуска)
1	Токарная обработка под посадку на ступицу	6	Слесарная обработка
	Червячное колесо в сборе	7	Контроль
1	Посадка венца на ступицу		
2	Чистовая токарная обработка		

Наиболее распространенной последовательностью технологических процессов изготовления глобоидных червяков является: 1) предва-

Таблица 38. **Технологическая схема изготовления червяка**

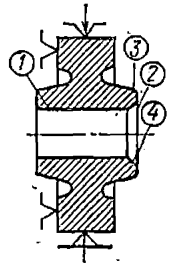
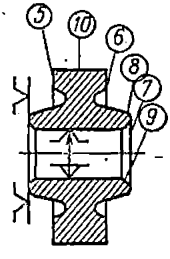
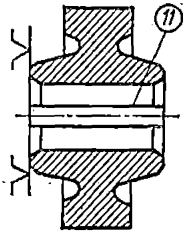
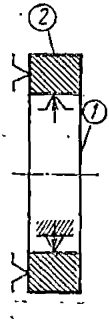
№ операции	Содержание операции	Эскиз	Оборудование
1	Фрезерование и центрование		Фрезерно-центровочный полуавтомат
2	Токарная: обтачивание поверхностей (1), (2), (3) (поверхность (1) обточить с припуском под шлифование) снятие фасок (4), (5); прорезание канавки (6); подрезание торца с образованием радиуса (7)		Токарный многорезцовый станок
3	Токарная: обтачивание поверхностей (8), (9), (10) с припуском на шлифование (поверхность (11) начисто); снятие фасок (12), (13), (14); прорезание канавки (15); подрезание торцов с образованием галтелей (16), (17)		То же

Продолжение табл. 38

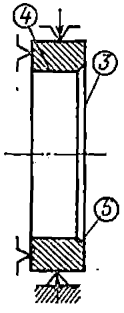
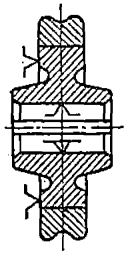
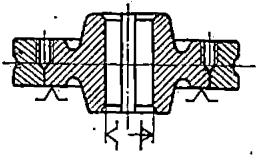
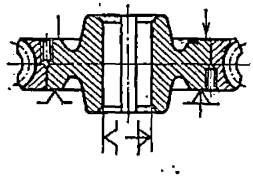
№ операции	Содержание операции	Эскиз	Оборудование
4	Фрезерование витков червяка предварительно (инструмент — специальная дисковая фреза)		Червячно-фрезерный станок
8	Шлифование поверхностей (1), (8), (9), (10)		Круглошлифовальный станок
9	Фрезерование шпоночной канавки		Шпоночно-фрезерный станок
10	Шлифование витков червяка		Резьбошлифовальный станок

Примечание. Отсутствующие в таблице номера операций означают: 5, 11 — слесарная обработка; 6 — термообработка; 7 — дефектоскопия; 12 — контроль.

Таблица 39. **Технологическая схема изготовления червячного колеса**

№ операции	Содержание операции	Эскиз обработки	Оборудование
	Ступица		
1	Токарная: растачивание и развертывание отверстия (1); подрезание торца (2); снятие фасок (3) и (4)		Токарно-револьверный станок
2	Токарная: подрезание торцов (5), (6), (7); снятие фасок (8), (9); обтачивание наружной поверхности (10) предварительно и начисто		Токарно-многорезцовый станок
3	Протягивание шпоночного паза (11)		Протяжной станок
	Венец		
1	Токарная: подрезание торца (1); обтачивание наружной поверхности (2)		Токарный станок

Продолжение табл. 39

№ операции	Содержание операции	Эскиз обработки	Оборудование
2	Токарная: подрезание второго торца (3); растачивание внутренней поверхности (4). Снятие фаски (5)		Токарный станок
	Червячное колесо в собранном виде		
2	Подрезание торцов ступицы и обода с двух сторон начисто и обтачивание наружной поверхности; выточка выемки и закруглений		Токарный многорезцовый станок
3	Сверление шести отверстий с двух сторон детали (с поворотом детали) и нарезание резьбы		Вертикально-сверлильный станок
5	Нарезание зубьев (предварительное)		Зубофрезерный станок
6	Шевингование зубьев		Шевинговальный станок

Примечание. Отсутствующие в таблице номера операций означают: 1 — напрессовка венца на ступицу; 3, 4, 7 — слесарная обработка; 8 — контроль.

рительная токарная обработка; 2) термическая обработка; 3) токарная обработка с созданием технологических баз для установки червяка при нарезании; 4) шлифование технологических баз; 5) обтачивание глобоидной выемки; 6) предварительное нарезание; 7) получистовое и чистобое нарезание (с учетом модификации); 8) контроль; 9) фрезерование концов витков; 10) слесарная обработка; 11) притирание с макетным колесом (операция не обязательная); 12) чистовая токарная обработка шеек, резьбы и т. д.; 13) шлифование шеек; 14) слесарная обработка; 15) окончательный контроль; 16) азотирование (в некоторых передачах выполняется после притирки червяка в паре).

При изготовлении червяков повышенной твердости после 10-й операции производится омеднение резьбовых участков, центров и торцов, а затем термообработка: цементация и закалка. После удаления омеднения и зачистки центров осуществляется шлифование всех витков (как вариант) и отделка.

Раздел пятый
ТЕХНОЛОГИЯ СБОРКИ МАШИН

Глава XXXVI
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О СБОРКЕ

§ 104. Изделие и его элементы. Понятия о сборочных процессах

Изделием называют любой предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению на данном предприятии. В зависимости от назначения выделяют изделия основного и вспомогательного производства. К первым относятся изделия, предназначенные для поставки (реализации), ко вторым — предназначенные для собственных нужд предприятия, изготовляющего их.

Согласно ГОСТ 2.101—68 «Единая система конструкторской документации» (ЕСКД) устанавливаются следующие виды изделий: детали, сборочные единицы, комплексы и комплекты. В зависимости от наличия или отсутствия составных частей изделия подразделяются на неспецифицированные (детали) — не имеющие составных частей и специфицированные (сборочные единицы, комплексы, комплекты) — состоящие из двух или более составных частей.

Деталь — это изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала, без применения сборочных операций, например, валик из одного куска металла, литой корпус и др.

Сборочная единица — изделие, составные части которого подлежат соединению между собой на предприятии-изготовителе сборочными операциями (свинчиванием, клепкой, пайкой, сваркой, развальцовкой, склеиванием и т. п.).

Комплекс — два и более специфицированных изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенных для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, установленных для всего комплекса (например, комплекс, состоящий из метрологической ракеты, пусковой установки и средств управления).

Комплект — два и более изделия, не соединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющих собой набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера (например, комплект запасных частей прибора, комплект инструмента и принадлежностей, комплект измерительной аппаратуры и т. п.).

Технологический процесс сборки представляет собой часть производственного процесса, характеризующуюся последовательным соединением и фиксацией всех деталей, составляющих

ту или иную сборочную единицу, в составные части (комплекты, комплексы) в целях получения изделия, полностью отвечающего установленным для него техническим требованиям.

В машиностроении готовые изделия (машины и механизмы) обычно собирают на том же заводе, где изготовляют детали для этого изделия. Лишь в тех случаях, когда изделия громоздки (мощные турбины, тяжелые прессы, подъемные краны и т. п.), их собирают на месте у потребителя. Однако даже в тех случаях, когда окончательную сборку машины ведут одновременно с установкой ее на фундамент, первоначальную (предварительную) сборку всей машины или отдельных сборочных единиц производят на заводе-изготовителе. В ряде случаев окончательную сборку изделия (комбайна, самолета и т. п.) на заводе-изготовителе не делают в целях сохранения транспортабельности продукции при железнодорожных перевозках ее к потребителю в пределах установленных габаритов.

Первичным элементом всякого собираемого изделия, ее основой является *базовая деталь* или *базовая сборочная единица*.

Сборочной единицей первого порядка называют такую составную часть изделия, которая может быть собрана самостоятельно, отдельно от других элементов изделия. Сборочные единицы, входящие в изделие не непосредственно, а через сборочную единицу первого порядка, называют сборочными единицами второго порядка, третьего и т. д.

В современном машиностроении сборка расчленяется на сборки составных частей — сборочных единиц и общую. Под сборкой составных частей понимают последовательную сборку сборочных единиц различных порядков в сборочные единицы первого порядка, а под общей — сборку из них готовых изделий.

Технологические схемы сборки составных частей и общей сборки строят обычно раздельно; в них приводят порядок комплектования сборочных единиц и изделия в целом. Такие схемы сборки можно также использовать для оценки технологичности конструкции, так как если схема позволяет выполнить общую сборку из предварительно собранных сборочных единиц, то, следовательно, собирать их можно параллельно, т. е. сокращать общий цикл сборки.

В приборостроении и аппаратостроении, там, где в изделии имеются элементы, образующие электрические и магнитные цепи, различают *электрическую сборку* и *монтажные работы*. Особую, весьма сложную часть сборочных работ составляют регулировочные, наладочные и испытательные работы.

Технологический процесс сборки состоит из ряда отдельных операций, среди которых основными являются операции соединения сопрягаемых элементов изделия, т. е. те, которые приводят в соприкосновение их основные и вспомогательные базовые поверхности. Кроме этого, в процессе сборки проверяют или контролируют требуемую точность взаимного положения элементов изделия, вносят, если необходимо, соответствующие исправления путем регулирования, пригонки или подбора и, наконец, фиксируют правильное положение. Сборка токопроводящих соединений отдельных конструктивных эле-

ментов и электромагнитных систем является предметом электрической сборки и монтажа.

В состав монтажных работ входят заготовка соединительных проводов для монтажных схем, изготовление (вязка) жгутов, внутренний электрический монтаж и соединение элементов монтажной схемы. Далее идут механические, электрические и климатические испытания. К технологическому процессу сборки относятся также операции, связанные с контролем (проверкой) правильности действия всего изделия или его отдельных узлов.

Сборочные операции часто перемежаются с другими необходимыми по ходу работ операциями, связанными с очисткой, промывкой, пропиткой, окраской и отделкой деталей, сборочных единиц или всего изделия в целом. В сборочном цехе выполняют также комплектовочные работы, имеющие весьма важное значение для бесперебойной работы цеха, и некоторые несложные заготовительные операции.

§ 105. Технологическая организация процессов сборки

В зависимости от типа производства (единичного, серийного и массового) изменяется и технологическая организация сборки. При единичном производстве изготовление одного или нескольких изделий не повторяется или повторяется через неопределенные промежутки времени.

К характерным принципам сборки в условиях единичного производства относятся: ограниченное применение принципа взаимозаменяемости и широкое применение слесарно-пригоночных работ; применение труда высококвалифицированных слесарей-сборщиков, способных по чертежам и технологическому процессу собирать разнообразные сложнейшие машины.

В единичном производстве технологические процессы обычно детально не разрабатывают, а делают только наметку последовательности операций и ориентировочно подсчитывают рабочее время, определяемое на основании статистических данных аналогичных работ. Это объясняется тем, что детальная разработка не повторяющихся в единичном производстве технологических процессов экономически нецелесообразна.

Технологический процесс сборки в этом виде производства имеет свои особенности. Его строят на принципе последовательного выполнения операций, не расчлененных на более простые переходы сборочного процесса, что обычно бывает в серийном и массовом производстве.

Разнообразная номенклатура машин, изготовляемых единицами, не позволяет по экономическим причинам снабдить в должной мере сборочный цех специальной высокопроизводительной оснасткой (инструментами, приспособлениями). Такую оснастку применяют только в случаях, когда без нее невозможно выполнять ту или иную сборочную операцию.

В условиях единичного производства при сборке машин имеет место большой объем пригоночных работ, к которым относятся: за-

чистка и опиловка сопрягаемых поверхностей деталей, шабрение втулок, прорубка смазочных канавок, подрезка деталей, наварка коротких деталей, сверление и нарезание резьбы и другие работы.

Цикл сборки машины, т. е. время, в течение которого производят сборку ее (с момента поступления деталей на сборку и до оформления собранной машины) при единичном производстве, очень велик по сравнению с другими видами производства. При сборке в единичном производстве требуются значительные производственные площади.

Серийное производство в отличие от единичного характеризуется выпуском машин не единицами, а партиями (сериями) через определенные промежутки времени. Выпуск машин сериями позволяет в большей степени оснастить технологический процесс сборки сборочных единиц и машин.

В условиях серийного производства технологический процесс сборки машин построен по принципу параллельно-последовательного выполнения операций. Сложные операции разбивают на более простые, общую сборку машин разделяют на сборку сборочных единиц. При таком построении процесса машины можно собирать развернутым фронтом и, кроме того, в некоторых работах могут участвовать менее квалифицированные слесари-сборщики. При крупных сериях можно провести специализацию, т. е. некоторые виды работ выполняются одним рабочим, что значительно повышает производительность труда.

В связи с большой насыщенностью серийного производства различного рода оснасткой пригоночные работы занимают меньшее место; этому способствует также высокая отработка чертежей машин, что в целом облегчает их сборку в серийном производстве.

В зависимости от величины серии и периодичности чередования организационные формы серийного производства могут быть различными. Иногда серийное производство приближается к организационным формам единичного производства, однако в большинстве случаев в нем широко используют организационные формы массового производства при ограниченной номенклатуре и большом размере выпуска изделий.

При серийном производстве в зависимости от номенклатуры выпускаемых изделий и их количества применяют различное оборудование, инструмент и приспособления — от универсального до специализированного, а в отдельных случаях и специального назначения; широко применяют принцип взаимозаменяемости, но наряду с этим могут иметь место и некоторые пригоночные работы.

Номенклатура изделий заводов массового производства весьма однородна и ограничена. Изделия изготовляют в больших количествах, причем их конструкцию меняют сравнительно редко.

Сборка в массовом производстве отличается от сборки в единичном и серийном производстве следующим: возможностью закрепления *за каждым* рабочим местом, за каждым рабочим постоянной повторяющейся операции (приспособлений и инструмента) и применения специальной оснастки, специального оборудования (транспортеров, рольгангов, конвейеров), позволяющего наиболее

производительно организовать процесс сборки отдельных сборочных единиц и машины в целом; расчленением технологического процесса сборки на простейшие операции, что позволяет выполнять работу наиболее широким фронтом и рабочими низкой квалификации (операционниками, выполняющими только одну операцию).

В условиях массового производства технологический процесс строят по принципу параллельного выполнения операций, что резко сокращает цикл сборки машин. Высокая специализация работ способствует достижению большой производительности труда на сборке. В массовом производстве достигаются наибольший съем продукции с одного квадратного метра сборочной площади, минимальная трудоемкость сборочных работ, наиболее короткий цикл сборки машин и механизмов.

Одним из основных условий массового производства является осуществление принципа взаимозаменяемости, обеспечивающего изготовление деталей с определенной точностью без дополнительной обработки, пригонки и изменения характера работы этой детали в собранном изделии.

Таким образом, сборку машин в массовом производстве выполняют без каких-либо пригоночных работ. «Собираемость» машин в массовом производстве наивысшая; она обусловлена отработанностью чертежей и технологии по всему производственному циклу.

Не на всех производственных участках массового производства выполняется работа непрерывным потоком. В некоторых случаях работа выполняется с серийным запуском. Наряду с подвижной сборкой целых изделий и ряда его групп в массовом производстве встречается и серийная сборка менее трудоемких групп и подгрупп.

Технологические процессы для массового производства разрабатывают детально с полной дифференциацией отдельных операций. Такая детальная разработка целесообразна и экономически оправдывается тем, что в массовом производстве технологические процессы повторяются постоянно.

Глава XXXVII
МЕТОДЫ СБОРКИ

§ 106. Технологическая классификация методов сборки

Детали машин при соединении их в сборочные единицы должны сохранять определенное взаимное расположение в пределах заданной точности. В одних случаях при сборке должен быть выдержан зазор, обеспечивающий взаимное перемещение деталей, в других — необходимый натяг, обеспечивающий прочность их соединения.

В зависимости от вида производства применяют пять основных методов сборки: 1) при полной взаимозаменяемости деталей сборочных единиц; 2) с сортировкой деталей по группам (метод группового подбора); 3) с подбором деталей (неполная взаимозаменяемость); 4) с применением компенсаторов; 5) с индивидуальной пригонкой деталей по месту. Каждый из этих методов сборки обладает своими преимущест-

вами и недостатками, и потому в зависимости от характера производства, его организации и технической оснащенности применяют тот или иной метод.

Метод полной взаимозаменяемости предусматривает сборку машин без какой-либо дополнительной обработки деталей с установкой и заменой любой детали без пригонки. Этот метод экономически целесообразен в массовом и крупносерийном производстве, где капитальные затраты на оснащение производства окупаются большим количеством изготовляемых машин. При этом методе благодаря отсутствию операций подбора или пригонки деталей ускоряется сборка машин, снижается трудоемкость и увеличивается выпуск продукции. Помимо этого, использование комплектов запасных деталей и узлов, изготовленных на основе полной взаимозаменяемости, обеспечивает быструю замену в эксплуатационных условиях изношенных или поврежденных деталей, что повышает эффективность эксплуатации машин.

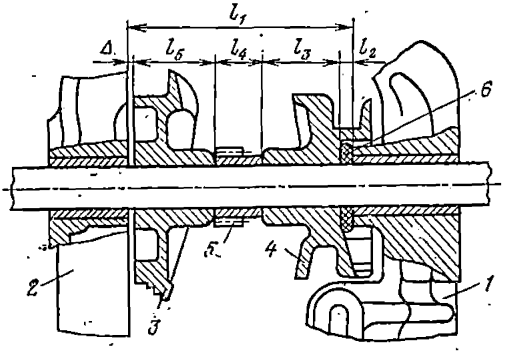


Рис. 270.

Рассмотрим пример сборки сборочной единицы вала (рис. 270), при которой для обеспечения посадки эксцентриков *3* и *4* необходимо выдержать суммарный зазор (*1* и *2* — корпуса; *5* — зубчатое колесо; *6* — регулируемая шайба).

Выделим размеры l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, представленные на рисунке в виде схемы размерной цепи. Допуск замыкающего звена (зазора Δ) определится по формуле

$$\delta_\Delta = \delta_{l_1} + \delta_{l_2} + \delta_{l_3} + \delta_{l_4} + \delta_{l_5}.$$

Решение этого уравнения является решением первой задачи определения отклонения размерной цепи. Обозначим отклонения на размеры: $\delta_{l_1} = +0{,}25$; $\delta_{l_2} = -0{,}1$; $\delta_{l_3} = -0{,}15$; $\delta_{l_4} = -0{,}10$; $\delta_{l_5} = -0{,}20$; тогда $\delta_\Delta = 0{,}25 + 0{,}1 + 0{,}15 + 0{,}1 + 0{,}20 = 0{,}8$ мм.

Из решения этого уравнения видно, что все предельные отклонения размеров арифметически суммируются, т. е. предполагается, что все детали, составляющие данную сборочную единицу, выполнены с наименее выгодными предельными отклонениями. Например, все отверстия у подшипников — с предельно большими диаметрами, валы — с предельно малыми диаметрами, зубья зубчатых колес — предельно тонкие, все отверстия для их осей предельно раздвинуты или сужены и т. д.

В действительности же в результате действия ряда факторов при изготовлении любой партии детали никогда не могут быть одинаковыми, т. е. одни детали будут с размерами, более близкими к номи-

налу, другие — с менее близкими. Вероятность сочетания одних крайних размеров в кинематических цепях с однородными по величине погрешностями (отклонениями от номинала) крайне ничтожна. Так, например, вероятность получения наихудшего сочетания крайних плюсовых или крайних минусовых отклонений при их распределении по закону равной вероятности в размерной цепи, имеющей элементы с одинаковыми величинами допусков, весьма мала. При реальных распределениях вероятность сочетания крайних отклонений ничтожно мала.

Решение о применении сборки с полной взаимозаменяемостью должно базироваться на анализе работы механизмов и на технико-экономических расчетах. При этом основными факторами, ограничивающими использование этого метода сборки, являются требования применения точных методов обработки большого количества деталей, сложных и точных приспособлений и контрольно-измерительных приборов, что нерентабельно при небольшом объеме производства и. пр.

Метод сборки с применением сортировки деталей (метод группового подбора). Для осуществления высокой степени однородности посадок (без дополнительной пригонки деталей) и предотвращения увеличения затрат на производство при назначении излишне жестких допусков сборку ведут путем подбора (предварительной сортировкой деталей).

Этот метод сборки применяют там, где по условиям работы деталей требуется зазор или натяг в более узких пределах, чем получаемый из основных размеров деталей с учетом допусков на их изготовление. В таком случае требуемый конструкцией зазор или натяг получают не за счет изготовления деталей с минимальными допусками, а путем соответствующего подбора охватывающих и охватываемых деталей, т. е. к отверстию с диаметром, близким к верхнему пределу, подбирают более полный вал и, наоборот, к отверстию с диаметром, близким к нижнему пределу, подбирают менее полный вал.

Подбор деталей значительно упрощается, если детали обоих наименований по размерам (в пределах допусков на их изготовление) разбивают на несколько групп. Метод предварительной сортировки деталей на группы предусматривает разбивку полей допусков сопрягаемых деталей на несколько равных частей и подбора их таким образом, чтобы полномерные охватываемые детали сопрягались с полномерными охватывающими деталями.

Рассмотрим пример (рис. 271), когда сопрягаемые детали имеют различные допуски. Тогда при сортировке деталей на число групп $n = 3$ будем иметь для каждой группы допуск зазора

$$\delta_{\Delta} = (\Delta_{\text{наиб}} - \Delta_{\text{наим}})/3 = (\delta_{\text{а}} + \delta_{\text{в}})/3,$$

где $\delta_{\text{а}}$ — допуск на отверстие; $\delta_{\text{в}}$ — допуск на вал.

При сборке методом предварительной сортировки (селективная сборка) детали сортируют таким образом, чтобы в каждую группу вошли охватывающие и охватываемые детали одной группы, т. е. такие детали, у которых пределы отклонения лежат внутри этих полей допусков. Детали каждой из таких групп могут соединяться

только между собой; охватывающие детали I группы — с охватываемыми деталями I группы; охватывающие детали II группы — с охватываемыми деталями II группы и т. д.

Рассмотрим пример обработки пальца и поршня двигателя внутреннего сгорания. Палец по диаметру обрабатывается в размер с до-

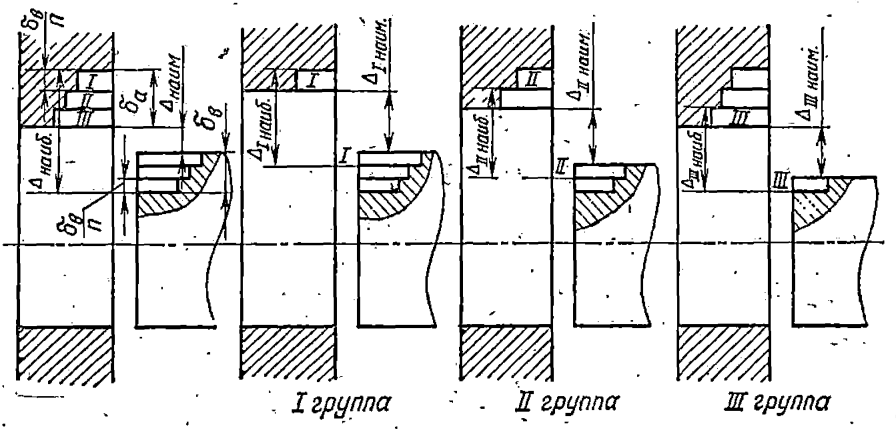


Рис. 271.

пуском $36_{-0,012}$, отверстие в поршне под палец обрабатывается в размер с допуском $36^{+0,015}$. При полных полях допусков получаем:

$$\Delta_{наиб} = 0{,}027 \text{ мм}; \quad \Delta_{наим} = 0{,}000; \quad \delta_{\Delta} = 0{,}027 \text{ мм}.$$

При сортировке этих деталей на три группы получаем допуск зазора

$$\delta_{\Delta\,(n=3)} = \frac{\delta_a + \delta_в}{n} = \frac{0{,}015 + 0{,}012}{3} = 0{,}009 \text{ мм}.$$

Разбивка деталей по группам приведена в табл. 40.

Таблица 40. **Разбивка диаметральных размеров пальцев и поршней (отверстий под пальцы) по группам**

Группа	Диаметр пальца, мм	Диаметр отверстия в поршне, мм	Зазоры, мм
I	35,988...35,992	36,000...36,005	0,008...0,017
II	35,992...35,996	36,005...36,010	0,009...0,018
III	35,996...36,00	36,010...36,015	0,010...0,019

Описанный выше метод подбора деталей дает возможность получать повышенную точность. Однако применение его целесообразно лишь

при сборке сборочных единиц с короткими размерными цепями и при обеспеченности сборки достаточным количеством деталей.

Кроме возможности сортировать детали на группы внутри полей допусков необходимо знать кривые распределения их размеров. Для этого нужно опытным путем получить кривые распределения и исследовать их, что позволит определить вероятность получения заданного зазора или натяга и одновременно установить количество деталей в каждой группе при сортировке.

Если распределение размеров собираемых деталей (например, валы и втулки) подчиняется закону нормального распределения, то количество деталей каждой группы одинаково и сборка протекает нормально. Если же одна из деталей (например, втулка) подчиняется другому закону распределения, то, очевидно, некоторую часть деталей нельзя пустить в сборку из-за несоответствия в количественных соотношениях по группам.

Тогда применяется статистический способ, заключающийся в том, что обследуется возможно бо́льшее количество операций, строятся для них кривые распределения и графо-аналитическим методом для каждой группы в отдельности устанавливается количество неиспользуемых деталей.

Метод сборки с применением подбора деталей (неполная взаимозаменяемость). Этот метод основан на учете вероятностей отклонений размеров, составляющих размерную цепь, причем возможно получение некоторого количества сборочных единиц, выходящих за установленные пределы точности. Сборка с применением подбора деталей благодаря расширению допусков на все звенья размерной цепи позволяет экономичнее изготовлять детали.

Предполагая, что все отклонения размеров составляющих звеньев являются случайными и независимыми, подсчет допуска замыкающего звена (зазора или натяга δ_Δ) производят по формуле

$$\delta_\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=m-1} \delta_i^2}.$$

В данном случае суммирование допусков производится не арифметически, а по правилу квадратного корня. Следовательно, чем больше допусков суммируется, тем больше становится разность между арифметической и квадратической суммами.

Если рассеивание действительных размеров цепи подчиняется одной и той же закономерности — закону нормального распределения — и кривая совпадает значениями $\pm 3\delta$ с границами допуска, то на основании теории вероятностей можно определить коэффициент сужения φ_x допуска зазора (или натяга) при переходе от полной к частичной взаимозаменяемости в зависимости от процента возможного получения сборочных единиц, выходящих за установленные пределы точности,

$$\varphi_x = \delta_{\Delta_x}/\delta_{\Delta_0},$$

где δ_{Δ_x} характеризует повышенный допуск при x сборочных единиц.

В табл. 41 приведены значения коэффициента φ_x.

Таблица 41. **Значение коэффициента φ_x в зависимости от процента сборочных единиц, выходящих за пределы точности**

Возможный процент сборочных единиц, выходящих за пределы точности	Значение коэффициента φ_x	Возможный процент сборочных единиц, выходящих за пределы точности	Значение коэффициента φ_x
0,3	1	10,0	0,64
1,0	0,82	15,0	0,56
3,0	0,79	20,0	0,43
5,0	0,69		

Взятый для примера допуск замыкающего звена (зазора Δ) при подборе определится так:

$$\delta_{\Delta_x} = \sqrt{0{,}25^2 + 0{,}10^2 + 0{,}15^2 + 0{,}10^2 + 0{,}20^2} = 0{,}38 \text{ мм},$$

тогда коэффициент сужения допуска

$$\varphi_x = 0{,}38/0{,}8 = 0{,}47,$$

что по табл. 41 соответствует примерно 18% сборочных единиц, выходящих за установленные пределы точности.

Таким образом, при переходе от полной к частичной взаимозаменяемости точность сборки повысилась в 2,1 раза (0,8/0,38). Однако при этом не исключена возможность выхода за установленные пределы точности около 18% сборочных единиц, которые потребуют доделки.

Метод сборки с применением компенсаторов. При большом числе звеньев размерной цепи и малом допуске замыкающего звена (зазора или натяга) необходимая для полной взаимозаменяемости точность изготовления деталей может в значительной степени усложнить производство и далеко выйти за пределы экономически целесообразной точности. В таких случаях приходится либо отказаться от полной взаимозаменяемости, допуская пригонку деталей по месту, либо вводить в конструкцию механизма тот или другой вид компенсатора, позволяющего регулировать в определенных пределах один из размеров. Такую регулировку называют *компенсацией*, а деталь, подбираемую в размерной цепи или специально вводимую в цепь для уменьшения допуска замыкающего звена, — *компенсатором*.

Характерная особенность всех компенсаторов состоит в том, что сборка с их применением позволяет выдерживать установленные пределы точности в размерной цепи путем изменения величины одного из ранее намеченных звеньев. Обработка же всех остальных звеньев цепи осуществляется по допускам, наиболее приемлемым для данных производственных условий.

Величину компенсирующего звена можно регулировать двумя способами: введением в размерную цепь специальной детали — прокладки, шайбы, промежуточного кольца и т. п. (*неподвижные* компенсаторы) и изменением положения одной из деталей, например клина, втулки, эластичной или пружинной муфты, эксцентрика и т. п. (*подвижные* компенсаторы).

Величину компенсации $\delta_к$, т. е. изменение компенсационного размера, которая должна перекрывать разницу между суммой принятых допусков для составляющих звеньев и допуском заданного звена, можно определить из уравнения

$$\delta_к = \left[\sum_{i=1}^{i=m-1} \delta_i\right] - \delta_\Delta,$$

где δ_i — величина расширенных допусков; m — общее количество звеньев размерной цепи, включая и замыкающее звено; δ_Δ — допуск зазора.

Данное уравнение определяет границы наименьшего поля, в пределах которого должна быть обеспечена возможность изменения компенсационного размера. Если компенсатор позволяет изменять размер не непрерывно, а ступенями (например, сменные шайбы, прокладки, кольца и т. п.), то к наименьшему размеру компенсации нужно прибавить еще и допуск на компенсатор.

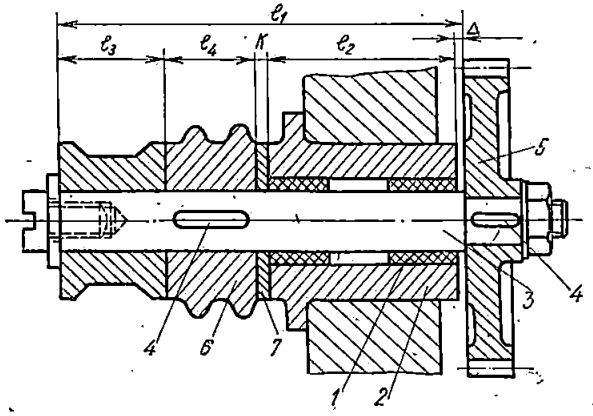


Рис. 272.

В качестве примера рассмотрим передачу, снабженную компенсатором (рис. 272). Во втулках *1* подшипника *2* вращается валик *3*, на котором на шпонках *4* посажены зубчатое колесо *5* и шкив *6*. Между торцами шкива и втулки помещено регулировочное кольцо *7* (компенсатор).

Требуется определить количество и размер компенсаторов, необходимых для обеспечения зазора, величина которого должна быть в установленных пределах $\Delta = 0{,}1 \ldots 0{,}3$ мм ($\delta_\Delta = 0{,}2$ мм).

Обозначим числовыми значениями составляющие размерной цепи с допусками:

$$l_1 = 100^{+0{,}23}; \quad l_2 = 42_{-0{,}17}; \quad l_3 = 35_{-0{,}17};$$
$$l_4 = 20_{-0{,}12}; \quad \Delta = 0{,}3_{-0{,}2}; \quad K = 3_{-0{,}06}.$$

Тогда наибольшая величина компенсации составит

$$\delta_к = (0{,}23 + 0{,}17 + 0{,}17 + 0{,}12 + 0{,}06) - 0{,}2 = 0{,}55 \text{ мм}.$$

При неподвижных компенсаторах расчеты необходимого количества размеров определяют по формуле

$$n = \delta_к/\delta_\Delta + 1 = 0{,}55/0{,}2 + 1 \approx 4.$$

Тогда размеры компенсаторов, необходимых для обеспечения установленного зазора, определяются следующими величинами:

$$K_1 = 3{,}14_{-0{,}06};\quad K_2 = 3{,}28_{-0{,}06};\quad K_3 = 3{,}42_{-0{,}06};\quad K_4 = 3{,}56_{-0{,}06}.$$

В качестве компенсатора очень часто используют набор нескольких одинаковых по толщине прокладок, одновременно вводимых в размерную цепь. Наименьшее количество прокладок определяется по формуле

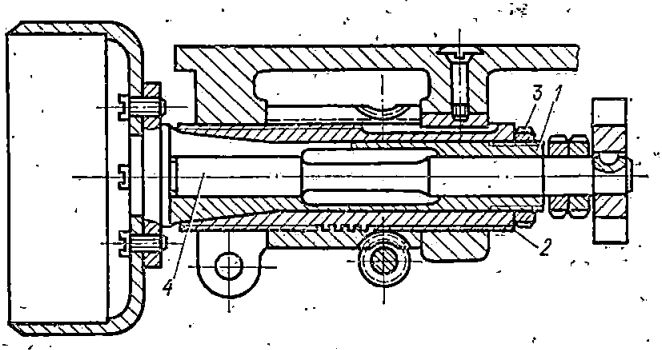


Рис. 273.

$$n = \delta_к/a,$$

где a — толщина прокладок.

К наиболее часто встречающимся подвижным компенсаторам можно отнести компенсатор износа шпинделя (рис. 273), представляющий собой разрезное кольцо *1* с конусом на одном конце и резьбой на другом. Кольцо перемещается во втулке *2*. При навинчивании на резьбу кольца гайки *3* кольцо перемещается вправо и стягивается конусом втулки *2*, вследствие чего радиальный зазор между шпинделем *4* и кольцом *1* устанавливается до заданного зазора.

При наличии в размерной цепи звеньев, меняющихся по величине вследствие износа деталей, к величине компенсации необходимо прибавить величину ожидаемого износа, подлежащую компенсации после определенного срока работы машины путем периодического или непрерывного регулирования. К периодически регулируемым компенсаторам относятся конусные, клиновые, эксцентриковые, пружинные, резьбовые или шлицевые, зубчатые и др.

Метод сборки с индивидуальной пригонкой деталей по месту. Сборка с пригонкой деталей по месту заключается в том, что установленный предел точности замыкающего звена в размерной цепи достигается изменением величины одного из заранее намеченных звеньев путем снятия дополнительного слоя материала. По существу, сборка с доделкой деталей по месту является

методом неполной взаимозаменяемости с пригонкой деталей в тех случаях, когда размер замыкающего звена лежит за пределами допускаемых отклонений.

Чтобы производить пригонку за счет выбранного компенсирующего звена, необходимо: располагать поле допуска подлежащей пригонке детали относительно номинала с таким расчетом, чтобы обеспечить на компенсирующем звене слой материала (припуск на пригонку), достаточный для компенсации величины превышения допускаемой погрешности замыкающего звена; выдерживать при обработке деталей, входящих в размерную цепь, установленные, экономически приемлемые величины допусков, не выбирать в качестве компенсирующего звено, которое является общим для нескольких размерных цепей, так как изменение его величины вносит погрешности во все связанные между собой размерные цепи.

Существенными недостатками метода сборки с пригонкой по месту являются: потребность в рабочих высокой квалификации; повышенная трудоемкость, иногда достигающая 40...50% общей трудоемкости сборки машины; трудности учета и нормирования пригоночных работ, а также необходимость в большинстве случаев снятия стружки, что вызывает загрязнение рабочих мест и требует дополнительной очистки и промывки собранных узлов и механизмов.

§ 107. Подготовка деталей к сборке

В зависимости от вида производства сборка машин в той или иной степени может быть связана с выполнением пригоночных работ. Пригоночные работы не являются сборочными и относятся к слесарным, которые предшествуют выполнению сборочных операций.

Пригоночные работы делят на технологические пригоночные работы, т. е. работы, предусмотренные технологическим процессом, и нетехнологические пригоночные работы, являющиеся следствием «несобираемости» машин. Они, как уже было сказано, вызываются прежде всего неотработанностью чертежей и технологических процессов по всему циклу производства, а также отсутствием надлежащего контроля за ходом производственного процесса.

Основными подготовительными операциями, предшествующими сборке, являются очистка деталей и узлов от загрязнений маслом, стружкой, опилками и т. д. промывкой в моечных устройствах с последующей сушкой и обдувка сжатым воздухом.

Слесарно-пригоночными работами устраняют погрешности механической обработки или заменяют иногда часть станочных операций, если выполнение последних по тем или иным причинам затруднительно. Основными видами слесарно-пригоночных работ являются: обрубка, опиловка, шабрение, притирка, доводка, зачистка, правка, сверление, развертывание и нарезание отверстий по месту и в сборе и др.

Обрубкой снимают неровности на ограниченных участках поверхности, чтобы устранить местные дефекты, обнаруживаемые при сборке. Ее осуществляют вручную слесарным зубилом или с помощью меха-

низированного инструмента — пневматических зубил. Обрубкой достигают точности обработки 0,25...0,5 мм.

При *опиловке* и *зачистке* обычно применяют напильники и абразивные круги. Для мелких и точных работ используют надфили — напильники малых размеров (длиной 50...100 мм) с очень мелкой насечкой. В тех случаях, когда приходится опиливать поверхности, находящиеся на значительном расстоянии друг от друга (прерывистые поверхности), причем обрабатываемые поверхности должны находиться строго в одной плоскости, применяют напильники специальной конструкции.

Поверхности различных деталей, которые по своим размерам и конфигурации не могут быть обработаны на металлорежущих станках или опилены обычными напильниками, обрабатывают рихтовочными напильниками. Ими обрабатывают также детали из цветных металлов и низкоуглеродистой стали.

Рихтовочные напильники отличаются от обычных тем, что на них профрезерованы радиальные зубья. Глубина зуба в рихтовочных напильниках делается бо́льшей, чем у стандартных напильников, а отношение глубины к шагу должно быть не менее 0,5. Это обеспечивает достаточный объем впадин между зубьями для нормального размещения стружки, что также существенно влияет на улучшение качества обрабатываемой поверхности. Передний угол зуба у рихтовочных напильников делают 3...5°. Рихтовочные напильники могут быть выполнены с зубьями с обеих сторон, изогнутыми по длине и даже изогнутыми в обоих направлениях. С помощью рихтовочных напильников хорошо снимаются грубые риски.

Для механизации работ по опиловке и зачистке широко применяют электрические или пневматические машинки, в патроне которых укрепляют специальные напильники или абразивные головки.

Шабрение в процессе сборки производят для получения ровной поверхности при пригонке сопрягаемых деталей. Шабрение — трудоемкий и малопроизводительный процесс. Тем не менее при отсутствии необходимого оборудования — это один из простых способов достижения достаточной точности пригонки.

Притирку и *доводку* применяют при сборке для получения плотных соединений точных геометрических форм с высоким качеством поверхности (например, клапанов, сальников, втулок, кранов, плунжерных пар и др.). В качестве притирочных материалов используют пасты ГОИ и некоторые другие, в состав которых входят окись хрома (74...81%), кремнезем, стеарин и др. Пасты ГОИ изготовляют грубые и средние для предварительной притирки и тонкие для окончательной притирки и доводки.

К инструментам для притирки относятся диски, цилиндры, конусы (подвижные притиры), плиты, бруски, трубы, кольца (неподвижные притиры), изготовленные по форме притираемых деталей. Притиры изготовляют из стекла, мягкого мелкозернистого чугуна, мягкой стали, красной меди, латуни, свинца, древесины (клен, дуб, бук).

Сверление отверстий чаще всего производят на вертикально-сверлильных станках. Кроме того, для этого широко используют настоль-

ные сверлильные и радиально-сверлильные станки. Однако при выполнении некоторых сборочных операций, особенно при сборке крупных машин, сверлильные работы, как правило, выполняют вручную. При ручном способе сверления отверстий для приведения сверла во вращательное движение применяют коловороты, трещотки, ручные пневматические и электрические дрели.

Пневматические и электрические дрели механизируют процесс сверления и облегчают ручной труд. Пневматические дрели работают под действием сжатого воздуха, давление которого 5...6 кгс/см^2. Они бывают поршневые и роторные. Пневматические дрели с роторным двигателем легче — от 1,5 до 14 кг. Их применяют для сверления отверстий диаметром от 6 до 22 мм. Дрели с поршневым двигателем массой от 12 до 20 кг используют для сверления отверстий диаметром от 22 до 32 мм.

Электрические дрели обладают рядом преимуществ по сравнению с пневматическими: они экономичнее и легче переключаются на обратный ход, но более чувствительны к перегрузкам и требуют специального заземляющего провода.

Для удобства работы пневматическими и электрическими дрелями в узких и труднодоступных местах применяют специальные удлинители, угловые насадки или угловые дрели.

В последнее время в производстве широко применяют высокочастотные дрели, работающие при напряжениях 72 и 36 В. Они значительно легче, меньше обычных и более безопасны в работе.

Пневматические и электрические дрели в случае необходимости могут быть установлены на специальные стойки и использованы как для сверления, так и для развертывания, нарезания резьбы и т. п.

Нарезание резьбы является одной из весьма распространенных слесарных операций, выполняемых при сборочных работах, и осуществляется с помощью резьбонарезной головки и вручную.

Основными режущими инструментами для ручного нарезания резьбы в отверстиях являются метчики, а для нарезания резьбы на стержнях, болтах, винтах, шпильках, трубках — винтонарезные плашки и доски.

Наружную резьбу при сборочных работах обычно нарезают круглыми плашками за один проход с помощью воротка с цилиндрическим отверстием. Для нарезания резьбы вручную применяют раздвижные призматические плашки, состоящие из двух половин и укрепляемые в клуппе — специальной рамке с рукоятками. Плашки имеют треугольные или полукруглые желобки, которые входят в направляющие клуппа. С помощью винта одну из половин плашки можно перемещать и устанавливать на необходимый диаметр нарезки.

Зачистку базовых плоскостей в отверстиях при сборке под опорные части фланцев, шайб, гаек, упоров и т. п. до определенной размерности при необходимости выполняют цилиндрическими зенковками.

Правку деталей в процессе сборки производят для того, чтобы придать им требуемую форму перед монтажом в узлы или изделия. Как

правило, правку деталей для обеспечения прямолинейности их осей в процессе сборки не делают.

В производстве следует применять такие способы контроля поступающих на сборку деталей, которые обеспечивали бы при сопряжении деталей необходимую точность взаимного расположения поверхностей. Однако в некоторых отраслях машиностроения, например в производстве сельскохозяйственных машин, операции правки оказываются экономически целесообразными. В этих случаях правка деталей позволяет обеспечить необходимую точность сопряжений, несмотря на сравнительно низкую точность деталей, поступающих на сборку. Детали обычно правят вручную, применяя несложные приспособления.

При правке плоских деталей, подвергшихся скручиванию, применяют специальный рычаг с прорезью по размеру детали. Изогнутые валы правят на призмах, также пользуясь рычагом. С учетом соотношения плеч можно создать силу до 80...90 кгс, изгибающую вал. При пользовании винтовым прессом можно создать силу до 300 кгс. Для правки крупных деталей нередко необходимы значительные силы (до 1500 кгс и более). В таких случаях целесообразно применять пневматические или гидравлические прессы.

Перед началом правки определяют характер изогнутости детали. Если это вал, то его укладывают на призму и, медленно вращая, отмечают мелом точки, где индикатор показывает наибольшее отклонение. Такую проверку делают по всей длине вала. Таким образом, устанавливают характер изгиба и точки приложения сил для выправления вала. При этом опоры-призмы необходимо устанавливать с двух сторон на равных расстояниях от оси винта пресса.

При правке вала возникает опасность чересчур изогнуть его в противоположную сторону. Во избежание этого под винт пресса устанавливают призму такой высоты, которая ограничивала бы прогиб вала.

Мойка. Металлические опилки, мельчайшие кусочки стружки, остатки обтирочных материалов, абразивный порошок, попадающие в отверстия или каналы детали, могут впоследствии при работе машины попасть вместе со смазкой в подшипники и привести к нагреву и преждевременному износу подшипников, а нередко и к выходу из строя всей машины. Для предотвращения этого детали и сборочные единицы следует промыть. Эту операцию выполняют в промывочных баках и шкафах, а также в механизированных моечных машинах.

Стационарный промывочный бак для ручной промывки представляет собой металлический резервуар площадью до 2 м^2, внутри которого укреплена решетка; на последнюю укладывают промываемые детали. В резервуар наливают промывочную жидкость, которая насосом подается в шланг с наконечником и оттуда струей направляется на промываемую деталь. Мельчайшие капли жидкости, взвешенные в воздухе, отсасываются через вытяжное устройство.

Необходимо отметить, что применение промывочных баков в сборочных цехах нерационально. Объясняется это тем, что промывка в открытых баках загрязняет цех, а при использовании для промывки бензина или керосина этот участок цеха становится огнеопасным.

В серийном и массовом производстве применяют специальные моечные машины, которые значительно удобнее, так как детали и сборочные единицы моют в закрытом резервуаре без участия рабочего.

Моечные машины бывают одно-, двух- и трехкамерными. В однокамерной машине детали и сборочные единицы только промывают. Для этой цели в моечной камере расположена батарея из труб с мундштуками. В эти трубы насосом нагнетают промывочную жидкость, забираемую из сливного бака. Мундштуки расположены таким образом, что деталь или сборочная единица одновременно омывается сильными струями со всех сторон. Жидкость подогревают посредством парового змеевика. Промываемые детали перемещают в моечной машине с помощью цепного конвейера. В двухкамерной машине — две моющие камеры: в первой детали промывают, а во второй их ополаскивают другой жидкостью. Камеры разделены брезентовыми или резиновыми шторами, препятствующими разбрызгиванию жидкости. В трехкамерной машине третью камеру используют для сушки.

В качестве промывочных жидкостей применяют подогретые водные растворы щелочей, например водный 3...5%-ный раствор кальцинированной соды с маслом (до 10 г на 1 л раствора) или 0,5%-ный водный раствор мыла.

Сильно загрязненные мелкие детали, особенно детали сложной конфигурации, трудно промывать с помощью обычных установок. Значительно эффективнее в этих случаях применять установки с использованием ультразвуковых колебаний высокой частоты. Благодаря этим колебаниям создаются условия, при которых частицы жидкости получают большую скорость и, ударяясь о поверхность детали со значительной силой, разрушают слой грязи или смазки, быстро очищая деталь.

После промывки детали должны быть тщательно п р о с у ш е н ы. Обычно для этой цели используют сжатый воздух, которым обдувают детали. Это целесообразно при сборке перед каждой операцией. Особенно тщательно необходимо продувать отверстия, пазы, канавки и прочие места, где легче всего задерживаются пыль и грязь. Для удобства обдувки каждое рабочее место сборки должно быть оборудовано постом от воздушной магистрали и гибким шлангом, оснащенным устройством револьверного типа — пистолетом. Таким пистолетом удобно пользоваться при обдувке деталей и сборочных единиц сложной конфигурации. Удлиненный мундштук дает возможность направлять струю воздуха в различные углубления, что не всегда можно делать посредством обычного наконечника. К тому же малый диаметр пистолета позволяет создать сильную струю воздуха.

§ 108. Технологический контроль и испытание сборочных единиц и машин

К о н т р о л ь, которому подвергается каждая сборочная единица и каждая машина, имеет целью определение соответствия точности формы, относительного положения и перемещения их исполнительных поверхностей заданным техническим условиям. Погрешности, появ-

ляющиеся при сборке сборочных единиц и машины в целом, могут иметь место в результате неправильных зазоров, неточностей регулировки, перекосов, остаточных напряжений, деформации вследствие сил, приложенных при соединении деталей, и т. п.

При контроле сборки отдельных соединений и сборочных единиц наряду с универсальными средствами измерений применяются и специальные контрольные приспособления, повышающие точность проверки и уменьшающие время контроля, для чего на сборочных участках и линиях располагаются рабочие места для выполнения контрольных операций.

Если проверкой устанавливается соответствие собранного соединения или сборочных единиц техническим условиям, то ставится клеймо и контролер расписывается в сопроводительном документе; при обнаружении погрешностей контролер составляет дефектную ведомость и возвращает соединение или сборочные единицы на сборочный участок для устранения дефектов.

После проверки правильности соединений и сборочных единиц собранные механизмы и машины в целом подлежат регулированию и испытанию.

Регулирование устанавливает надлежащее взаимодействие частей и согласованность работы отдельных механизмов. После регулирования собранная машина поступает на испытание, целью которого является проверка правильности работы, мощности, производительности и точности.

В зависимости от вида, назначения и объема производства машины проходят испытание на холостом ходу и в работе под нагрузкой, а также испытание на производительность, жесткость, мощность и точность.

При испытании на холостом ходу проверяются все включения и переключения органов управления машины, правильность их взаимодействия и безотказность, а также осуществляется проверка правильности работы подшипников, зубчатых передач и других соединений.

При испытании под нагрузкой проверяются качественные показатели машины в условиях, близких к производственным, при этом в разных режимах устанавливается переменная нагрузка. При проведении испытаний определяют ряд эксплуатационных показателей, например расход горючего, расход масла и др.

При испытании на производительность выявляют характерные для этого вида испытаний показатели (скорость, проходимость и др.). Этому виду испытаний подвергаются только опытные образцы и машины специального назначения.

Испытанию на жесткость подвергают главным образом металлообрабатывающее оборудование.

Испытанию на мощность подвергают все виды машин при единичном производстве и все или выборочно машины, изготовляемые в серийном производстве; при этом машине задаются максимальные силы и моменты, имеющие место при ее эксплуатации. Цель этого испытания — определение к. п. д. машины при максимально допустимой нагрузке.

Испытанию на точность подвергают машины, производящие, сортирующие и контролирующие продукцию (станки, сортировочные и контрольные автоматы и полуавтоматы). При этом производится оценка точности машины по результатам ее действия: точности обработки, сортировки и контроля.

В случае обнаружения во время испытаний каких-либо дефектов последние устраняются или непосредственно на стенде, или на сборочном участке, куда машина направляется после снятия с испытательного стенда. После устранения дефектов машина поступает на повторное испытание, а затем на участок окраски для окончательной отделки.

§ 109. Окраска машин и консервация

Для предохранения нерабочих поверхностей машин от влияния окружающей среды, а также из соображений эстетики машину окрашивают в соответствующий цвет. Процесс и способы покраски зависят от характера изделия, производства и требований, предъявляемых к качеству окраски. Подготовка к процессу окраски состоит из очистки и обезжиривания поверхностей, грунтовки, шпаклевки и зачистки шпаклеванных поверхностей абразивным полотном.

Окраску изделий выполняют различными способами: ручным, распылением, окунанием, в барабанах, в электростатическом поле распылением.

Окраска ручным способом, т. е. кистью, применяется в единичном и мелкосерийном производстве. Способ этот трудоемкий, но качество при тщательном выполнении может быть достаточно высоким. *Окраска распылением* — жидкая краска в распыленном виде подается сжатым воздухом. Этот способ более производителен, но требует специально оборудованного помещения с вытяжными устройствами и установки для окраски. *Окраска окунанием* — деталь погружают в ванну с краской. Этот способ применяют в крупносерийном и массовом производстве при окраске деталей простых форм. *Окраска в барабанах* и других устройствах применяется для мелких деталей в массовом производстве при неподвижном и подвижном состояниях деталей.

После окраски детали, соединения, сборочные единицы в целом подвергают или естественной, или искусственной сушке. Искусственную сушку производят подогретым воздухом (газом, электричеством, паром) в закрытой камере при температуре 55...220° С или рефлектором (специальными электролампами), в этом случае сушка протекает в 2...4 раза быстрее, чем сушка подогретым воздухом. Применяют также сушку токами высокой частоты и терморадиацией и инфракрасными лучами; последний способ используют для сушки деталей, покрытых эмалями.

Консервация представляет собой антикоррозионное покрытие собранных узлов и изделий, подлежащих хранению или транспортировке. В качестве предохранительной смазки применяют технический вазелин и смеси, содержащие масло, вазелин, канифоль, воск, парафин, олифу и др.; детали с наложенной на них смазкой обертывают парафиновой бумагой.

Предохранительные смазки наносят на поверхности деталей распылителем, кистями или посредством окунания деталей в предварительно подогретую смазку.

Глава XXXVIII
КЛАССИФИКАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ ПРИ СБОРКЕ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Соединения деталей и сборочных единиц в зависимости от их конструкций могут быть подразделены на *подвижные* и *неподвижные*. Подвижные и неподвижные соединения с точки зрения возможности разборки подразделяют на *разъемные* (или разбираемые) и *неразъемные* (неразбираемые). Неподвижные соединения могут быть также разбираемыми.

Разъемными или разбираемыми называют соединения, которые могут быть разобраны без особых затруднений и без повреждений сопряженных или крепежных деталей. Неразъемными или неразбираемыми называются соединения, разборка которых в процессе эксплуатации не предусмотрена и поэтому крайне затруднительна, требует больших усилий и сопровождается повреждением сопряженных или крепежных деталей либо скрепляющего вещества.

Неподвижные неразбираемые соединения выполняют клепкой, сваркой, паянием, посадкой с натягом, склеиванием карбинольным или другим клеем, заливкой металла, прессованием, холодной штамповкой и др. Они отличаются точностью и прочностью. В некоторых случаях к соединениям могут предъявляться дополнительные требования (герметичность, электропроводность и т. п.) Неподвижные разбираемые соединения выполняют глухой, тугой, напряженной и плотной посадками, винтовыми соединениями (винтами, шпильками, болтами и т. п.), соединениями при помощи штифтов, посадкой на конус в комбинации с винтовыми или клиновыми соединениями и другими способами.

Точностью соединения называется правильное взаимное расположение соединенных деталей в соответствии с требованиями чертежа или технических условий. *Прочность* неразбираемого соединения означает неизменность взаимного расположения соединенных деталей при действии предельно допустимых расчетных сил. *Герметичностью* (плотностью) соединения называется его непроницаемость для газов и жидкостей (воды, лигроина и т. п.). *Электропроводность* означает наличие в соединении электрического сопротивления в допустимых пределах.

На поверхности деталей не должно быть вмятин, забоин, пятен очагов коррозии, неровных швов и т. п. Разбираемые соединения должны быть точны, прочны, допускать многократную сборку и разборку и иметь хороший внешний вид.

Прочность соединения должна обеспечивать неизменность взаимного расположения деталей соединения в пределах требований к конструкции при повторных сборках и разборках, а также при работе в условиях вибраций.

Многократные сборки и разборки не должны изменять форм и размеров деталей. Разборка не должна вызывать особых затруднений (допустимы повреждения только специальных легко заменяемых деталей — шплинтов, штифтов, винтов).

Подвижные соединения осуществляют подвижными посадками по цилиндрическим, коническим, сферическим, винтовым поверхностям и другими способами.

В процессе сборки отдельные детали и сборочные единицы (группы и подгруппы) соединяют в пределах соответствующих норм точности, жесткости и с соблюдением технических условий, которыми установлены качественные нормы собираемой машины. При завершении сборочного процесса фиксируют окончательную точность выходных параметров всей машины. Таким образом, сборочный процесс существенно влияет на точность эксплуатационных свойств изделия и на степень взаимозаменяемости его сборочных единиц.

Заклепочные соединения применяют для создания прочных и плотных швов между двумя или несколькими соединяемыми деталями, изготовляемыми преимущественно из листа полосового и фасонного проката. Обычно закладную головку заклепки устанавливают в гнездо поддержки, соответствующее форме головки. Замыкающую головку нужной формы формируют обжимкой, на которую давит пуансон пресса. В труднодоступных местах давление пуансона прикладывается к закладной головке, а замыкающая головка формируется гнездом поддержки.

Для соединения неметаллических деталей, а также в малонагруженных сборочных единицах с ограниченной массой применяют трубчатые заклепки. Замыкающую головку этих заклепок получают обжатием или развальцовыванием.

В тех местах, где нельзя подвести обжимку и поддержку, применяют клепку взрывом. В этом случае стержень заклепки также делают полым. Полость стержня заполняется взрывчатым веществом, которое при электронагреве через закладную головку взрывается и расширяет полый стержень заклепки, стягивая сопрягаемые детали.

Сварные соединения в значительной мере вытесняют клепаные благодаря тому, что сварные конструкции легче, обладают большей плотностью и герметичностью швов; конструкции сварных изделий проще, а себестоимость их ниже.

Глава XXXIX

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ СБОРКИ

Для решения технологической схемы сборки необходимо определить конструктивные и сборочные элементы изделия и их взаимную связь. Схематическое изображение взаимной связи конструктивных или сборочных элементов изделий называют соответственно схемами конструктивного и сборочного составов изделий. Выбор и определение последовательности сборки зависят в основном от конструкции собираемого изделия и степени требующейся дифференциации сборочных работ. Последовательность ввода деталей и сборочных единиц

в процесс сборки изделия определяет и порядок их предварительного комплектования.

При проектировании технологического процесса сборки необходимо собираемые изделия предварительно расчленить на элементы таким образом, чтобы осуществить сборку наибольшего количества этих элементов независимо друг от друга. Изделие расчленяют на сборочные единицы путем построения **схемы сборочного состава**.

Органическая связь сборочного процесса с конструкцией изделия требует от технолога перед непосредственным проектированием технологического процесса сборки тщательного изучения конструктивной связи деталей и сборочных единиц изделия. Технолог должен определить сборочные единицы изделия, выделив базовые элементы и количество разъемов, проверить возможность обеспечения требующейся точности сборки и взаимозаменяемости, установить шифр или индекс каждой сборочной единицы в целях последующего его использования при разработке технологической документации.

При выделении сборочных единиц обязательным условием является возможность сборки каждой сборочной единицы независимо от других. Кроме сборочных единиц определяют детали и составные части изделия, которые поступают в собранном виде со стороны. В результате этого должна быть составлена схема сборочной связи отдельных деталей и составных частей данного изделия. Эта сборочная связь определяет **сборочный состав** изделия.

В связи с тем, что схема сборочного состава должна указывать последовательность сборочного процесса, в ней должен быть выделен **базовый элемент** (базовая деталь, сборочная единица и т. д.), с которого и начинается сборка.

В процессе сборки изделия пользуются сборочными базами.

Сборочной базой называется совокупность поверхностей или точек, по отношению к которым фактически ориентируют другие детали изделия. Сборочные базы образуются теми элементами деталей, которые определяют их положение относительно других, ранее установленных деталей.

Для разработки технологического процесса сборки составляют **технологические схемы сборки**. В этих схемах условно изображают последовательность сборки машины из элементов (деталей, сборочных единиц). Схему сборки обычно составляют в соответствии со сборочным чертежом изделия и спецификацией его деталей.

Типовая схема разбивки изделия на сборочные единицы представлена на рис. 274, где каждая составляющая изображена в виде прямоугольника, внутри которого (или рядом с ним) пишется наименование и номер сборочной единицы (СБ-1 — сборочная единица 1-го порядка, СБ-2 и СБ-3 — соответственно 2-го и 3-го порядков), а иногда и трудоемкость ее сборки.

В технологических схемах надписывают названия методов соединений, где они не определены типом соединяемых деталей. Так, т: «приварить», «запрессовать», «набить смазкой» (но не азания «заклепать», если показана установка заклепки).

При сравнении между собой технологических схем сборки конструктивно подобных различных машин с точки зрения соответствия требованиям технологии сборки (удобства и трудоемкости сборки и разборки, минимума ручных и пригоночных работ и т. п.) можно определить технологичность конструкции данной машины.

Технологичным (с точки зрения сборки) называют изделие, которое можно скомплектовать из предварительно собранных сборочных единиц. Чем больше деталей машины может быть предварительно объединено в отдельно собранные сборочные единицы, тем короче будет цикл сборки, так как их можно собирать параллельно (одновременно в нескольких местах).

Разработка технологического процесса сборки начинается с изучения служебного назначения и конструкции изделия, условий работы

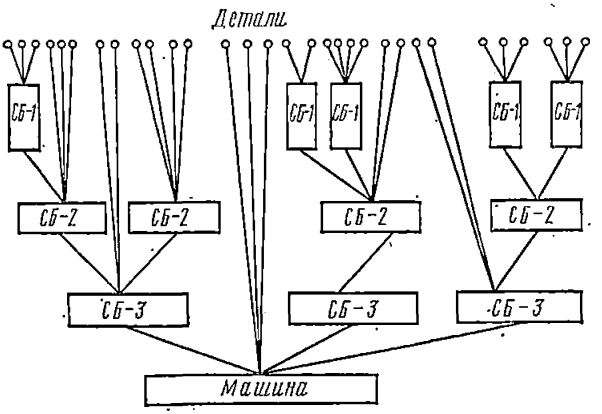


Рис. 274.

и технических условий его приемки. При этом необходимо произвести технологический анализ сборочных чертежей (правильность простановки размеров, необходимых для сборки, обоснованность регламентации точности и т. п.). Глубина разработки технологического процесса сборки предопределяется типом производства и размером годового выпуска. При малых выпусках изделий разработка процесса сборки ограничивается составлением маршрута, последовательности сборочных операций. При большом выпуске процесс сборки разрабатывается детально с возможно полной дифференциацией сборочных операций.

Выбор варианта и разработка процесса сборки зависят также от того, в каких условиях осуществляется разрабатываемый процесс — на вновь проектируемом или на действующем предприятии. В первом случае выбор и разработка варианта технологического процесса свободные, а во втором зависят от ряда факторов: наличия оборудования и его загрузки, перспектив получения нового оборудования, производственных возможностей инструментальной подготовки производства и т. п.

На основании изучения исходных данных составляется технологическая схема общей сборки и сборки сборочных единиц. Для сложных изделий на основании технологических схем сборки разрабатываются технологические процессы отдельных сборочных единиц, а затем процесс общей сборки. Технологические процессы в свою очередь расчленяются на отдельные последовательные операции, переходы, приемы. Операция может выполняться при нескольких установках.

Технологический процесс сборки включает в себя соединение тем или иным способом сопрягаемых деталей и сборочных единиц; проверку полученной точности относительного положения и движения сборочных единиц и деталей; внесение необходимых поправок для достижения требуемой точности путем пригонки, подбора или регулировки; фиксацию относительного положения сборочных единиц и деталей (например, проверка правильности работы систем смазки, последовательности включения отдельных механизмов и т. д.). В сборочные процессы включаются операции (переходы), связанные с очисткой, мойкой, окраской и отделкой деталей, сборочных единиц, а также машины в целом, и работы, связанные с регулировкой машины и ее механизмов.

В состав работ по сборке составных частей (сборочных единиц) и общую сборку могут входить следующие основные операции: крепление деталей; сборка неподвижных деталей; сборка деталей, передающих движение; сборка вращающихся деталей; разметка для сборки (в единичном и мелкосерийном производстве); взвешивание и балансирование деталей и сборочных единиц; установка станин, рам, плит, корпусов и т. п.

При разработке технологического процесса поточной сборки необходимо вначале определить такт сборочных работ, так как расчленение технологического процесса на отдельные операции зависит от такта сборки; затрата времени на отдельные операции (трудоемкость) должна быть равной или кратной величине такта.

При разработке технологического процесса сборки для каждой операции, перехода и других частей сборочного процесса должно быть дано описание характера работ и способов их выполнения; должны быть указаны необходимый инструмент и приспособления; определены потребное количество времени, количество рабочих и их квалификация. Таким образом, технологический процесс сборки определяет длительность сборки изделия, количество рабочих на все сборочные работы, сроки подачи деталей и сборочных единиц.

Структура нормы времени на сборочные операции аналогична структуре нормы времени на станочные работы. Основное, вспомогательное и подготовительно-заключительное время определяется по нормативным данным, разрабатываемым на основе изучения и анализа опытных данных, хронометражных материалов передовых предприятий в соответствии с определенными организационными условиями производства. Время обслуживания рабочего места и перерывов на физические потребности и отдых принимаются в процентном отношении к оперативному времени (в среднем 4...8%).

ГОСТ 3.1407-74 Форма 1

Инв.№ подл.	Подпись и дата	Взам. инв.№	Инв.№ дубл	Подпись и дата

Операционная карта слесарных, слесарно-сборочных и электромонтажных работ

Номер цеха	Номер участка	Номер рабочего места	Номер операции	Наименование операции	Оборудование (наименование, модель)

Номер перехода	Содержание перехода	Технологический режим	Приспособление (код, наименование)	Инструмент (код, наименование)	T_0

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Изм	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Разраб.				Лист
										Проверил				
										Нормир.				
										Утверд.				Листов
										Н.контр.				

Рис. 275.

Разработанный технологический процесс сборки должен быть эффективным для заданных условий, для чего производят технико-экономическую оценку.

Оценка и выбор варианта технологического процесса сборки производятся также путем сопоставления затрат на выполнение отдельных сборочных операций и всей сборки сборочной единицы или изделия.

Затем оформляется технологическая документация процессов сборки, состоящая из маршрутной и операционной карты технологического процесса сборочных, слесарно-сборочных и электромонтажных работ, комплектовочной карты, ведомости материалов, а также технологических схем сборки изделия и сборочных единиц.

На рис. 275 приводится образец операционной карты технологического процесса сборочных, слесарно-сборочных и электромонтажных работ.

Глава XL
ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ФОРМЫ СБОРКИ МАШИН

Основными организационными формами сборки являются стационарная и подвижная. При стационарной сборке изделия полностью собирают на одном сборочном посту. Все детали и сборочные единицы, требуемые для сборки изделия, поступают на этот пост. При подвижной сборке собираемое изделие последовательно перемещается по всем сборочным постам, на каждом из которых выполняют определенную операцию. Каждый пост оборудуют приспособлениями и инструментами, предназначенными для выполнения данной операции. Детали и сборочные узлы для сборки поступают на соответствующие посты.

Стационарная сборка может быть осуществлена двумя методами: 1) без расчленения сборочных работ (принцип концентрации) и 2) с расчленением (принцип дифференциации).

По первому методу сборку изделия практически должен выполнять один человек или бригада от начала до конца. Цикл сборки по этому методу при значительной трудоемкости сборочного процесса чрезвычайно продолжителен, и при большой программе выпуска изделий требуется большое количество сборочных площадей, инструмента, оборудования и пр. Этот метод применяют в индивидуальном или опытном производстве при сборке специальных, уникальных машин и приборов, а также в мелкосерийном производстве, когда весь процесс сборки изделия состоит из небольшого количества несложных операций.

Разновидностью метода сборки без расчленения процесса на операции является *бригадный метод*, когда сборку всего изделия выполняет бригада рабочих; но бригадный метод уже является первым шагом на пути расчленения сборочного процесса на части, ибо внутри бригады имеет место некоторая дифференциация работ, т. е. одни рабочие специализируются на одной группе сборочных операций, другие — на другой.

В ряде случаев за каждым рабочим бригады закрепляют определенную сборочную единицу изделия, вследствие чего члены бригады

специализируются на выполнении определенных сборочных работ. Однако по конструктивным условиям в большинстве случаев вести сборку всех сборочных единиц одновременно невозможно. В связи с этим при таком методе сборки большое значение имеет правильное планирование начала и конца сборочных работ, сборочных единиц с учетом их трудоемкости и последовательности установки на машину.

Бригадный метод сборки широко распространен в мелкосерийном производстве, а также при выполнении повторной сборки машины на месте ее постоянной работы (например, сборка крупных гидравлических турбин с их установкой, вновь устанавливаемых в типографиях сложных полиграфических машин и пр.).

Поточному методу при подвижной сборке рабочие, выполняющие отдельные операции, распределены по рабочим местам — постам, к которым подают соответствующие детали и сборочные единицы, объект же производства последовательно перемещается от одного поста к другому. Это перемещение может быть *свободным*, когда объект сборки располагается, например, на тележках, перемещаемых самими исполнителями, и *принудительным*, когда объекты сборки перемещают механическими транспортными устройствами непрерывного или прерывного действия (конвейер).

Преимущества этого способа состоят в том, что расчлененный сборочный процесс не требует высококвалифицированных исполнителей, так как закрепление за исполнителем одной или небольшого количества операций дает ему возможность приобрести в короткий срок необходимые навыки.

При расчлененном процессе сборки каждую операцию оснащают соответствующими приспособлениями и инструментом; в связи с этим время на сборку изделия и потребное количество рабочих при расчлененном процессе сборки меньше, чем при нерасчлененном. Расчлененный процесс для заданной программы выпуска изделий требует значительно меньших производственных площадей благодаря сокращению производственного цикла сборки. Количество одновременно собираемых изделий при этом значительно меньше, чем при нерасчлененном процессе.

Процесс сборки может быть расчленен в условиях крупносерийного и массового производства таким образом, что каждую операцию будет выполнять только один исполнитель. В этом случае объект работы (сборочные единицы или изделие) должен в процессе производства последовательно переходить от одного рабочего места к другому, по потоку. Под этим понятием подразумевается движение собираемого изделия, обычно осуществляемое механическими транспортными средствами.

Переход на поточный метод производства позволяет увеличить выпуск продукции, снизить себестоимость изделия, сократить длительность производственного цикла, уменьшить незавершенное производство, увеличить производительность труда, облегчить и улучшить условия труда, учет и планирование производства, укрепить трудовую дисциплину.

Под поточной линией сборки понимают ряд рабочих мест, участвующих в сборке сборочных единиц или машины, расположенных соответственно последовательности операций технологического процесса сборки. Непрерывность процесса при поточной сборке достигается благодаря равенству или кратности времени выполнения операций на всех рабочих местах линии сборки, т. е. длительность любой сборочной операции на линии сборки должна быть равна или кратна такту сборки изделия.

Для большинства изделий машиностроения наиболее совершенной по технико-экономическим показателям является поточная сборка при расчлененном процессе с принудительным движением объекта и принудительно регулируемым тактом.

Точный принудительный такт сборки на конвейере является планирующим началом для организации всей работы не только сборочного, но и всех других цехов предприятия, обеспечивающих «питание» конвейера. Внедрение конвейера вызывает, как правило, коренную ломку старых технологических процессов и требует широкого применения механизации, в связи с чем создаются предпосылки для автоматизации производственных процессов.

Чтобы достигнуть высокой производительности труда и обеспечить высокое качество работ при поточной сборке, требуется большое количество различных инструментов и приспособлений, сконструированных с учетом каждой операции. Необходимость передачи собираемых сборочных единиц с одного рабочего места на другое заставляет иногда выполнять приспособления для сборки такими, чтобы их легко можно было перемещать вместе со сборочными единицами в процессе сборки. Такие приспособления называются *спутниками*.

Между отдельными операциями сборки сборочных единиц необходимо вводить операции контроля, назначение которых — проверять и принимать выполненные ранее операции сборки для обеспечения необходимого качества сборки сборочных единиц и изделия в целом.

Глава XLI

МЕХАНИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ

В современном машиностроительном производстве уровень механизации сборочных процессов (отношение трудоемкости работ, выполняемых механическими средствами, к общей трудоемкости сборки) колеблется в очень широком диапазоне: 1) частичная механизация, при которой механизированные средства применяются лишь на определенных сборочных операциях, а основная доля работ производится вручную с помощью простейшего немеханизированного инструмента; 2) комплексная, или всесторонняя, механизация, когда все основные рабочие операции выполняются с помощью механизированных инструментов и приспособлений; 3) частичная автоматизация, если часть рабочих процессов сборки осуществляется с применением автоматизированных средств, а остальная работа выполняется операторами-сборщиками с помощью механизированных инструментов и приспособлений; 4) комплексная

автоматизация, представляющая собой высшую форму механизации сборки; на этой ступени все рабочие операции, а также операции регулирования сопряжений и контроля собранных сборочных единиц и изделий выполняются машинами-автоматами под наблюдением небольшого количества наладчиков.

Технологический процесс сборки и организация сборочных работ обусловливают применение тех или иных средств механизации, причем, с одной стороны, степень совершенства организации сборки влияет на технико-экономическую эффективность механизации, а с другой стороны, рациональная механизация способствует совершенствованию организации сборки.

Любая сборочная операция состоит из основного и вспомогательного элементов. Основной элемент характеризуется изменением технологического состояния сборочной единицы в процессе сборки. К вспомогательным элементам относится перемещение сборочной единицы, деталей, инструментов и приспособлений, управление этими перемещениями и контроль сборки.

Для механизации основных элементов сборочных работ применяют электрифицированные, пневматические и пневмогидравлические механизированные инструменты, одно- и многошпиндельные. Для механизации вспомогательных работ и прежде всего для горизонтального и вертикального перемещения собираемых объектов, инструментов и приспособлений применяют рольганги, тележки, различные сборочные конвейеры, электрические и пневматические подъемники. К числу вспомогательных работ относится также рассортировка деталей перед сборкой на размерные и весовые группы, которая осуществляется сейчас почти повсеместно на специальных полуавтоматах и автоматах.

Механизация отдельных сборочных операций хотя и снижает в той или иной мере трудоемкость сборки, однако существенного экономического эффекта не дает; он возможен только при комплексной механизации. Завершающим этапом полной механизации сборки является применение автоматических систем машин.

Основными предпосылками для автоматизации сборочных процессов служат достаточные стабильность и объем выпускаемой продукции. В настоящее время автоматические сборочные машины применяются главным образом для сборки сравнительно небольших сборочных единиц или механизмов, например, приборных панелей с печатными схемами, плавких предохранителей, подшипников качения, радиоламп, фотоаппаратуры, в часовом производстве и т. п. Известны случаи использования сборочных машин в автомобильной промышленности, например для сборки блоков цилиндров, муфт сцепления и др.

К предпосылкам, обусловливающим эффективность применения автоматизированных устройств при сборке, относятся: идентичность операций при сборке различных изделий или сборочных единиц; значительная трудоемкость сборки; наличие высокого брака в процессе ручной сборки; опасность получения травмы и высокая стоимость сборки.

Одним из средств, облегчающих автоматизацию сборки и повышающих степень универсальности автоматических сборочных линий,

является смешанное применение в них позиций автоматической и ручной сборки, а также компоновка сборочных установок из нормализованных агрегатов и сборочных единиц, допускающих перекомпоновку.

Автоматические сборочные установки классифицируются в соответствии с траекторией движения собираемого изделия от одной позиции к другой. Наиболее часто используются установки с делительно-поворотным столом и прямолинейного исполнения.

Для сборки изделий небольших и средних размеров применяют сборочные установки ротационного типа, где собираемые сборочные единицы, состоящие из 2...5 деталей, путем поворота стола последовательно перемещаются из одной позиции в другую. Между автоматизированными позициями (обычно не более семи) могут быть расположены позиции ручной сборки. Иногда для облегчения точного позиционирования изделий используются установочные приспособления «плавающего» типа с перемещением от центральной транспортной системы и самоходные. Производительность подобного сборочного автомата составляет 500...1800 шт/ч. При двойной индексации она может быть соответственно увеличена. К недостаткам ротационных установок следует отнести: невозможность сборки крупных изделий, а также изделий, сборка которых требует значительного количества операций; ограниченное число позиций и тесное их размещение; ограниченные возможности совмещения автоматической и ручной сборки.

Автоматические сборочные линии выполняются либо горизонтально-замкнутыми, когда собираемые изделия перемещаются по прямоугольной или овальной трассе, либо вертикально-замкнутыми, в которых приспособления-спутники перемещаются по прямолинейной трассе и после разгрузки возвращаются транспортером к загрузочной позиции. Обе линии пригодны для сборки изделий с 5...10 и более деталями. Они могут быть как полностью автоматическими, так и с встроенными позициями ручной сборки. Производительность линий от 500 до 1800 изделий в час.

Для подачи деталей на автоматических сборочных установках применяются: вибробункерные, осуществляющие выдачу и первичную ориентировку засыпаемых в них навалом деталей; барабанные питатели, выполняющие те же функции, но пригодные лишь для подачи деталей простейшей формы; магазинные питатели для подачи деталей, которые могут сцепляться друг с другом; лопастные питатели для подачи деталей в несколько отводящих каналов и желобов; центробежные; пальцевые и др.

В соответствии с накопленным опытом считается целесообразным полностью автоматизировать сборочный процесс путем применения автоматических установок, если выпуск продукции превышает 500 изделий в час. Одним из критериев при оценке экономической эффективности автоматической сборочной установки служит количество человеко-часов работы сборщиков, которых она призвана заменить. Практически оно должно быть не меньше 2 тыс. в год.

Раздел шестой
ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

Глава XLII
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧАСТКА МЕХАНИЧЕСКОГО ЦЕХА

Завершающим этапом разработки любого технологического процесса является определение потребного количества оборудования, рабочих мест, их загрузки и производственных площадей на основе достижения наиболее высокой производительности труда и наиболее высокого технико-экономического эффекта.

Важнейшим резервом увеличения мощности производства наряду с вводом в действие новых цехов и участков является увеличение мощности путем реконструкции участков, рационального расположения оборудования, механизации и автоматизации производства, улучшения действующих и внедрения новых технологических процессов и организационных форм производства.

Проектирование участков механических цехов имеет целью установить техническую возможность и экономическую целесообразность предлагаемого решения, выбора наилучшего и наиболее экономичного варианта и составления технико-экономического обоснования преимущества этого решения перед другими. Решение этих вопросов не ограничивается знанием методов обработки на различного рода станках и требует изучения и знания целого комплекса вопросов, связанных с расчетом мощностей, выбором организационных форм и методов выполнения производственного процесса, определением рабочего состава, площадей и всем устройством участка и цеха; необходимо также учитывать уровень развития данной отрасли машиностроения, динамику измерителей производительности труда, новой техники и другие факторы.

Исходными данными для проектирования участка механического цеха являются: рабочие чертежи изделия и технические условия на его изготовление, режим работы участка, производственная программа, технологический процесс и технологический маршрут, данные о действующем (при расширении или реконструкции) производстве, (планировка оборудования, план и разрез цеха), схема коммуникации всех видов энергии (электричество, пар, газ, воздух и т. д.), а также сроки и очередность ввода мощностей на участке.

Режим работы участка и фонды времени. Календарный годовой фонд производственного времени оборудования $\Phi_к$ при шестидневной рабочей неделе определяют по формуле

$$\Phi_к = [(д - (в + р)]\, с\, ч - (в + п)\, ч_п с,$$

где $д$ — число календарных дней в году (365); $в$ — число выходных дней (52); $р$ — число революционных и других праздников (8); $п$ — число предпраздничных дней (6)*; $с$ — число смен работы участка; $ч$ — продолжительность смены, ч; $ч_п$ — величина сокращения продолжительности смены в предпраздничные дни, ч (1).

При пятидневной рабочей неделе (одно- и двухсменной) продолжительность смены составляет 8 ч 15 мин (4 дня) и 8 ч (1 день) — итого 41 ч в неделю. При пятидневной рабочей неделе с трехсменным режимом работы продолжительность смены составляет 7 ч 40 мин, при этом в месяц 3 недели работают по пятидневному графику и одну неделю по шестидневному («пермский» график). При пятидневной рабочей неделе в предпраздничные дни продолжительность смены не сокращается.

Действительный годовой фонд производственного времени оборудования в часах $Ф_д$, т. е. фонд времени с учетом простоя оборудования в капитальном ремонте, определяют по формуле

$$Ф_д = Ф_к к,$$

где $к$ — коэффициент простоя оборудования в капитальном ремонте.

В табл. 42 приведены числовые значения календарного и действительного годового фонда времени работы оборудования при шестидневной неделе различной сменности, продолжительности часов работы и времени простоя оборудования в капитальном ремонте.

Таблица 42. **Фонд производственного времени оборудования**

Число смен	Количество часов работы в смену	Календарный годовой фонд времени $Ф_к$, ч	Действительный годовой фонд времени $Ф_д$, ч			
			$к = 0{,}94$	$к = 0{,}95$	$к = 0{,}96$	$к = 0{,}97$
1	6	1772	1667	1683	1701	1715
	7	2077	1952	1973	1993	2015
2	6+6	3544	3334	3366	3402	3430
	7+7	4154	3904	3940	3996	4030

Примечание. Значение коэффициента простоя оборудования в капитальном ремонте $к$ уточняют по годовому плану капитального ремонта.

Действительный фонд времени $Ф_{д.р.м}$ рабочих мест слесарей, сборщиков, контролеров и т. п. принимают равным календарному фонду времени $Ф_к$.

Фонд времени рабочего определяют с учетом неизбежных потерь, составляющих 8% (в том числе выполнения общегосударственных обязанностей, невыходы по болезни и др., а также отпуск в размере 15 рабочих дней **). Числовые значения календарного фонда $Ф_к$ и действительного $Ф_{д.р.м}$ фондов времени рабочего даны в табл. 43.

---

* 1 и 2 мая, 7 и 8 ноября имеют по одному предпраздничному дню.

** На вредных работах — 18 и 24 рабочих дня.

Таблица 43. Фонд рабочего времени

Количество часов работы в смену	Календарный годовой фонд времени $Ф_к$, ч	Общие потери от календарного фонда, %	Действительный годовой фонд времени $Ф_{д.р}$, ч
6	1772	8	1630
7	2077	8	1911

Такт выпуска t рабочего места, участка или цеха определяет время в минутах на операцию, необходимое для обработки одной заготовки при условии выполнения программы выпуска на 100%. Его подсчитывают по формуле

$$t = Ф_{д.р.м} 60 / П_у,$$

где $Ф_{д.р.м}$ — действительный годовой фонд времени рабочего места, участка (или цеха), ч; $П_у$ — годовая программа выпуска рабочего места участка (или цеха), шт.

При определении такта выпуска можно принимать в расчет месячный, суточный или сменный фонд времени; в этих случаях принимают программу выпуска соответственно месячную, суточную или сменную.

Производственная программа. Производственная программа определяет количество годных деталей, подлежащих выпуску с рабочего места, участка (или цеха)в течение года. Годовую производственную программу рассчитывают по формуле

$$П_у = П_г n \left(1 + \frac{a}{100}\right),$$

где $П_г$ — годовая программа выпуска завода в готовых машинах (изделиях); n — количество деталей на одну машину (изделие); a — количество запасных частей от общего количества деталей, %.

Цеховая программа запуска определяет количество заготовок или полуфабрикатов, подлежащих поставке на производственный участок или рабочее место.

Программа запуска $П_з$, как правило, превышает программу выпуска на число деталей, необходимых для наладки оборудования (технологические потери). Ее определяют по формуле

$$П_з = П_г n \left(1 + \frac{a}{100}\right)\left(1 + \frac{б}{100}\right),$$

где $б$ — количество дополнительных деталей на наладку оборудования от основной программы выпуска (технологические потери), %.

В зависимости от типа производства и характера выпускаемой продукции производственная программа может быть точной, приведенной и условной.

Точная производственная программа полностью характеризует номенклатуру и количество заготовок, обрабатываемых на данном участке. Так как проектирование участка по точной производственной программе требует подетальной разработки технологических процес-

сов, что является трудоемкой и длительной работой, то этот вид программы применяют при разработке проекта участка крупносерийного или массового производства при ограниченной номенклатуре обрабатываемых заготовок.

Приведенную производственную программу определяют по типовым «представителям» — деталям, к которым условно приводят все детали, подлежащие изготовлению. В качестве «представителя» выбирают деталь, по конструктивным и технологическим признакам наиболее близкую остальным деталям, выпуск которой в общей номенклатуре составляет наибольшее количество.

Приведение натуральных единиц к типовому представителю осуществляют с помощью коэффициента приведения k, характеризующего отношение трудоемкости каждой детали $T_д$ к трудоемкости типового представителя $T_п$:

$$k = T_д/T_п;$$

$$k = k_1 k_2 k_3,$$

где k_1 — коэффициент весового соотношения; k_2 — коэффициент сложности конструкции; k_3 — коэффициент программы выпуска.

Коэффициент весового соотношения k_1 определяют по формуле

$$k_1 = \sqrt[3]{q_д^2/q_п^2},$$

где $q_д$ — масса приводимой детали; $q_п$ — масса типового представителя.

Коэффициент сложности конструкции k_2 находят из сравнения типового представителя с приводимой деталью по всем параметрам, характеризующим технологичность конструкции (см. гл. VIII). Если приводимая деталь сложнее, чем типовой представитель, то $k_2 > 1$, и, наоборот, если деталь проще, чем типовой «представитель», то $k_2 < 1$.

Величина коэффициента программы выпуска k_3 изменяется в зависимости от роста выпуска; так, если производственная программа приводимой детали будет больше, чем производственная программа типового представителя, то $k_3 < 1$.

Условная производственная программа обычно характеризует отсутствие точной номенклатуры изготовляемых деталей. В этом случае в качестве условных представителей выбирают такие детали, по которым имеются исходные данные для проектирования, близкие по конструктивным и технологическим признакам к намеченным для изготовления на данном участке.

Расчет оборудования. Расчетное количество оборудования для выполнения заданной производственной программы на отдельных операциях $C_р$ определяют по формуле

$$C_р = T_к П_у/(Ф_д \cdot 60c),$$

где $T_к$ — калькуляционное время на изготовление одной детали, мин; $Ф_д$ — действительный годовой фонд времени работы станка при работе в одну смену, час; c — число смен работы станка в сутки.

Так как в поточно-массовом производстве $T_к = T_{шт}$, то для этого типа производства

$$C_р = T_{шт}П_у/(Ф_д \cdot 60c), \quad \text{или} \quad C_р = T_{шт}/\tau,$$

где τ — такт.

При загрузке станка несколькими операциями, для обработки одной или нескольких заготовок, при расчете оборудования определяют суммарное калькуляционное время обработки на всех операциях.

Расчетное количество станков обычно получается дробным, и поэтому его округляют до целого числа, например $C_р = 0{,}74 \approx 1$.

Если расчетное число станков, полученное по этой формуле, окажется несколько больше единицы, то округлять целесообразно в меньшую сторону (например, $C_р = 1{,}13 \approx 1$), добиваясь снижения калькуляционного времени $T_к$ путем внедрения организационно-технических мероприятий. При расчетном количестве станков, намного большем, чем единица, округление производят в большую сторону, например $C_р = 1{,}87 \approx 2$.

Количество станков, полученное после округления, называется принятым количеством станков $C_{пр}$.

Степень занятости оборудования работой, закрепленной за ним, характеризует *коэффициент загрузки оборудования* $k_{заг}$. Этот коэффициент определяют из отношения расчетного количества оборудования к принятому:

$$k_{заг} = C_р/C_{пр}.$$

Для серийного производства $k_{заг} = 0{,}75...0{,}85$, а для поточно-массового производства $k_{заг} = 0{,}5...0{,}75$.

Степень использования оборудования по машинному времени характеризуется *коэффициентом использования* $k_и$, который представляет собой отношение машинного времени к штучному или калькуляционному времени:

$$k_и = T_м/T_к.$$

Для единичного и серийного производства $k_и \approx 0{,}6$, а для массового поточного производства $k_и \approx 0{,}7$.

Коэффициент использования оборудования по машинному времени следует максимально повышать, сокращая вспомогательное время, время обслуживания и подготовительно-заключительное время.

Определение необходимого числа рабочих на производстве. Расчет числа производственных рабочих-станочников $P_{ст}$ можно выполнять по трудоемкости обработки заготовок с учетом общей суммы нормированного времени, необходимого для выполнения программы участка, или по принятому количеству оборудования. Для этого пользуются следующей формулой:

$$P_{ст} = T_к П_з/(Ф_{д.р}k_м 60),$$

где $П_з$ — годовое количество одноименных заготовок, обрабатываемых за год на станках данного типоразмера, шт.; $Ф_{д.р}$ — действительный годовой фонд времени рабочего, ч; $k_м$ — средний коэффициент многостаночной работы.

Для механических цехов крупносерийного и массового производства $k_м = 1{,}2...1{,}4$; для механических цехов с большим количеством станков-автоматов и зуборезного оборудования $k_м = 1{,}3...1{,}5$.

При расчете числа рабочих-станочников на производстве по принятому количеству оборудования пользуются формулой

$$P_{ст} = \Phi_д C_{пр} k_{заг} C/(\Phi_{д.р} k_м).$$

Определение числа вспомогательных рабочих, инженерно-технических работников, счетно-контрольного персонала и младшего обслуживающего персонала. Число наладчиков, контролеров, ремонтников, транспортников и других рабочих можно определить расчетом отдельно для каждого вида работ или принять общим числом в процентном отношении к производственным рабочим.

В цехах серийного производства оно составляет 30...40%, крупносерийного — 40...60%, массового — 50...70%.

Численность инженерно-технических работников, счетно-конторского персонала, младшего обслуживающего персонала определяют из штатного расписания или укрупненно соответственно 8...12; 2...6; 1...2% от общего числа рабочих цеха (производственных и вспомогательных).

Определение размера партии. В серийном производстве необходимо производить расчеты для определения размера партии (серии) одновременно запускаемых в производство деталей.

Для этого пользуются следующей формулой:

$$n = (\Sigma T_{п.з}/\Sigma T_{шт})\, k_п,$$

где $\Sigma T_{п.з}$ — сумма норм подготовительно-заключительного времени по всем операциям механической обработки детали, мин; $\Sigma T_{шт}$ — сумма норм штучного времени по всем операциям механической обработки детали, мин; $k_п$ — коэффициент партионности (для мелкосерийного производства $k_п = 10$; для среднесерийного производства $k_п = 15...18$; для крупносерийного производства $k_п = 20...25$).

Полученный результат следует откорректировать с учетом следующих положений: партия деталей должна быть кратной месячной программе и должна обеспечивать участок сборки не меньше чем на недельный выпуск и не больше чем на трехмесячный; обеспечивать загрузку оборудования по ведущим операциям не менее чем на одну смену (в мелкосерийном производстве на половину смены); быть кратной количеству деталей, находящихся одновременно в изготовлении на станках; должна свободно размещаться на межоперационных площадях заделов участка или цеха.

Производственный цикл. Календарная продолжительность пребывания детали в процессе производства от запуска заготовок на первую операцию до сдачи готовых деталей на сборку или склад готовых деталей называется *производственным циклом.*

Продолжительность производственного цикла зависит от порядка движения обрабатываемых заготовок в процессе производства по технологическим операциям.

Различают следующие виды движения: последовательное, параллельно-последовательное и параллельное.

Последовательное движение характеризуется выполнением последующих операций только после окончания предыдущей операции по всей партии деталей. Этот вид движения всей партии деталей по технологическим операциям характерен для единичного и мелкосерийного производства. Продолжительность производственного цикла $П_ц$ в минутах для этого случая определяют по формуле

$$П_ц = nT_к + T_с,$$

где n — количество деталей в партии; $T_к$ — калькуляционное время изготовления, детали, мин; $T_с$ — время пролеживания детали между сменами, на контроле при транспортировании и т. д., мин.

Параллельно-последовательное движение характеризуется выполнением последующей операции после окончания на предыдущей операции части партии изготовляемых деталей.

Параллельно-последовательное движение деталей характерно для средне- и крупносерийного производства. Продолжительность производственного цикла в минутах определяют по формуле

$$П_ц = [T_к + (n-1)] \sum (t_{max} - t_{min}) + (n-1)\, t_{пр} + T_с,$$

где $\Sigma(t_{max} - t_{min})$ — сумма разности времени между наиболее и наименее продолжительными операциями, мин; $t_{пр}$ — время наиболее продолжительной операции, мин.

Параллельное движение характеризуется выполнением последующей операции после окончания предыдущей операции по каждой детали (или транспортной партии).

Параллельное движение характерно для массового или поточного производства, где продолжительность производственного цикла в минутах определяют по формуле

$$П_ц = [T_{шт} + (n-1)\, t_{пр} + T_с].$$

Сокращение продолжительности производственного цикла сокращает сроки изготовления, снижает незавершенное производство и накладные расходы, а также повышает ритмичность работы производственного участка и цеха.

Определение площадей участка. Площадь участка механического цеха состоит из производственной и вспомогательной площадей и в ряде случаев — из бытовых и конторских помещений.

Производственной площадью называется площадь, занятая производственным оборудованием (включая места для рабочих и хранения заготовок), рабочими местами для слесарных работ и межоперационного транспорта, а также под проходы и проезды между станками и рабочими местами.

Размеры производственной площади определяют расчетом по укрупненным показателям — удельной площади в квадратных метрах на единицу производственного оборудования (принятое количество) и на рабочее место, а также по планировке оборудования и рабочих мест.

Ниже приведены укрупненные показатели средней удельной площади (м²) для станков различных размеров:

Мелкие станки	5 ... 9
Средние	10 ... 16
Крупные	18 ... 60
Особенно крупные	70 ... 170

Вспомогательной площадью называется площадь, предназначаемая для склада заготовок, ремонтных служб, инструментальных кладовых и других вспомогательных помещений.

При расчете площади участка по укрупненным показателям вспомогательную площадь учитывают в общей площади на один производственный станок, а при планировке оборудования и рабочих мест ее определяют путем планировки вспомогательного оборудования соответствующих служб участка.

Площадь складов F (м²) определяют по формуле

$$F = Qt/(qk),$$

где Q — масса заготовок и деталей, проходящих через склад за сутки, т; t — запас хранения в сутках, т; q — грузонапряженность площади склада, занятой заготовками и деталями, т на 1 м²; k — коэффициент использования площади склада.

Площади бытовых и конторских помещений рассчитывают по укрупненным показателям: так, площадь бытовых помещений на одного списочного рабочего при средней сменности 1,5 и производственных процессах, вызывающих загрязнение рук, составляет 0,52 м² при открытом хранении одежды и 1,26 м² при закрытом хранении одежды.

Площадь конторских помещений определяют из расчета 3 м² на каждого работника. Эту норму можно сократить до 2,5 м², если служащие значительную часть времени находятся на участке или в цехе.

Глава XLIII

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

Рациональное расположение оборудования на производственном участке, как правило, определяют объемом и организацией производства, характером изготовляемых деталей и технологическим процессом. Оно характеризуется наименьшими затратами труда на межоперационную транспортировку деталей с соблюдением требований техники безопасности и пожарной охраны, а также эффективным использованием производственной площади.

Металлорежущие станки производственных участков могут быть расположены по признаку *однородности обработки*, т. е. по *видам оборудования* (токарные, фрезерные, шлифовальные, сверлильные и другие группы станков), и в *порядке последовательности выполнения технологического процесса*, т. е. *по потоку*.

Расположение оборудования по одному из этих способов зависит от объема и организации производства.

По первому способу, характерному для единичного и мелкосерийного производства, а также для изготовления отдельных

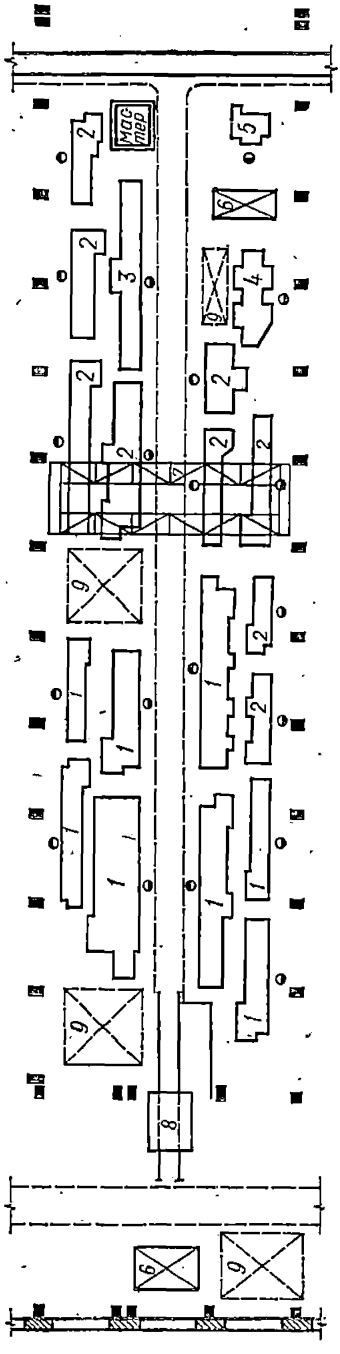


Рис. 276.

деталей в серийном производстве, станки располагают по признаку однородности обработки для большинства типовых деталей.

Так, в начале производственного процесса для обработки заготовок, имеющих форму тел вращения, обычно размещают токарные станки, а при обработке плоских заготовок — продольно-строгальные и продольно-фрезерные. При размещении станков исходят не только из осуществления прямоточности движения обрабатываемых заготовок, но и из эффективности использования подкрановых площадей и транспортировки стружки с черновых операций.

Как правило, станки для отделочных операций располагают в конечной части участка, завершая процесс обработки на данном участке.

В средней части участка обычно располагают группы фрезерных, зуборезных и сверлильных станков, так как для большинства типовых деталей эти виды обработки являются промежуточными.

На рис. 276 приведена технологическая планировка участка обработки валов в механическом цехе завода тяжелого машиностроения. Как видно из схемы, в начале участка установлены токарно-обдирочные и токарно-винторезные станки, а в конце — круглошлифовальный и горизонтально-расточной станки, завершающие обработку.

Второй способ расположения оборудования характерен для крупносерийного и массового производства. Здесь станки располагают в последовательности выполнения технологических операций, и каждый станок выполняет обработку одноименных (массовое производство) или нескольких разноименных, но схожих по признаку однородности обработки заготовок (крупносерийное производство).

Группы станков (линии), обрабатывающие одну заготовку, размещают на участке с учетом оптимального пути движения обрабатываемой заготовки, т. е. без обратных, кольцевых или петлеобразных движений, создающих встречные потоки и вызывающих затруднения для внутрицехового транспорта.

Допускают зигзагообразное движение заготовки, т. е. движение в *пределах пролета* из одного ряда станков в другой, расположенный параллельно первому.

Передача детали из одного пролета участка в другой для выполнения какой-либо операции обычно вызывает транспортные затруднения и допускается только в крайних случаях.

Последовательное расположение станков создает предпосылки для механизации межоперационного транспорта и более рационального использования обычных транспортных средств (кранов, тельферов, тележек, рольгангов, монорельсов и др.).

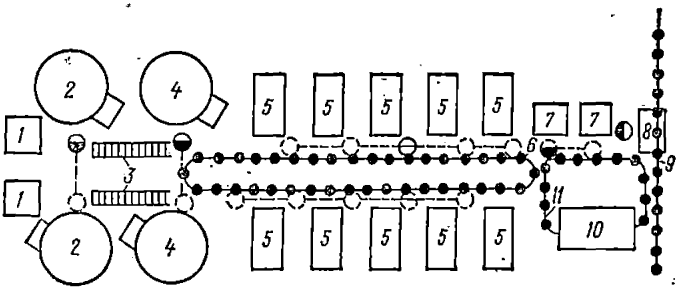


Рис. 277.

На рис. 277 приведена технологическая планировка участка обработки зубчатых колес по потоку.

Станки участка располагают последовательно на планировке по номерам операций для каждой детали, для чего предварительно по спецификации оборудования, пользуясь паспортными данными, вычерчивают габариты станков в соответствующем масштабе. При этом учитывают крайние положения движущихся частей, что дает более правильное представление о необходимой площади.

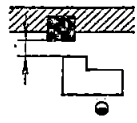
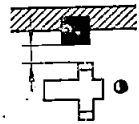
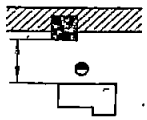
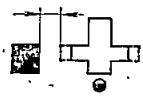
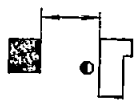
Размещая в различных вариантах вырезанные по габаритам плоские условные модели станков на площади участка в последовательности технологического процесса и найдя наиболее правильное и рациональное расположение, их закрепляют и наносят технологические движения обрабатываемых заготовок, получив, таким образом, планировку участка.

Расположение станков на планировке должно обеспечивать не только технологические требования, но и рациональную организацию рабочего места (удобное положение рабочего, место для хранения материала, заготовок, инструмента и вспомогательных приспособлений к станкам), а также требования техники безопасности.

Как правило, планировку участка вычерчивают в масштабе 1:100, а крупных цехов — в масштабе 1:200.

На планировке должны быть изображены все станки и устройства, относящиеся к рабочему месту, а также грузоподъемные и транспортные устройства, все проходы и проезды (штрих-пунктиром), колонны с осями и обозначением номера каждой колонны, очертания оснований колонн, наружные и внутренние стены (включая перегородки), окна, ворота и др.

Таблица 44. **Расстояние от станков до стен и колонн здания, мм**

Характеристика размеров	Эскиз	Размеры станков		
		мелкие	средние	крупные
		Наименьшее расстояние		
От выступающих конструкций стены:				
тыльной стороны станка		700	800	1000
боковой стороны станка		700	800	1000
фронта станка		1300	1500	2000
От колонн до:				
тыльной стороны станка		700	800	1000
боковой стороны станка		700	800	1000
фронта станка		1300	1500	8000

На планировке должны быть указаны все необходимые размеры: ширина пролетов, шаг колонн, ширина цеха, ширина продольных и поперечных проходов и проездов, расстояния от станков до стен и колонн и между станками, габаритные размеры крупных станков и др.

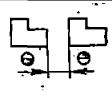
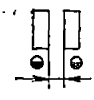
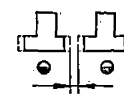
Все виды оборудования, устройств, транспортные средства, рабочие места, складские и контрольные площади и т. п. следует обозначать номерами и вносить в спецификацию, помещаемую в правом углу планировки.

Все нанесенные на планировке изображения и размеры должны быть вычерчены в масштабе.

Положение станков на планировке определяют относительно колонн пролета участка. Расстояние от определенной колонны в двух направлениях ориентирует расположение станка на участке.

Правилами охраны труда и удобствами эксплуатации станков регламентированы размеры расстояний (разрывов) между станками в продольном и поперечном направлениях, размеры расстояний от стен и колонн, размеры рабочего места и размеры продольных проходов, предназначаемых для транспортирования материалов, заготовок и др. Эти размеры установлены с учетом крайних положений движущихся частей станка для мелких, средних и крупных станков.

Таблица 45. **Расстояния между станками по фронту, мм**

Виды станков			
	Размеры станков		
	мелкие	средние	крупные
	Наименьшее расстояние		
Токарные, револьверные, патронные, горизонтальные токарные полуавтоматы и автоматы для штучных работ	700	900	1500
Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы, карусельно-токарные, вертикально-расточные, вертикально протяжные	700	1000	2000
Вертикально-сверлильные	700	900	1500
Горизонтально- и вертикально-фрезерные	700	900	1500
Поперечно-строгальные	700	900	—
Продольно-фрезерные, продольно-строгальные, плоскошлифовальные двухстоечные	—	1000	2000
Зубофрезерные, зубострогальные (обслуживаемые с боковых сторон)	700	900	1500
Радиально-сверлильные:			
расстояние между концами рукавов при их развороте на угол 45°	—	700	1000
то же, на угол 180°	—	300	500
Кругло- и внутришлифовальные, плоскошлифовальные	700	900	1500

Перед станком предусматривают для рабочего место шириной 750 мм. Положение рабочего обозначают на планировке кружком

Таблица 46. Расстояние между тыльными сторонами станков, мм

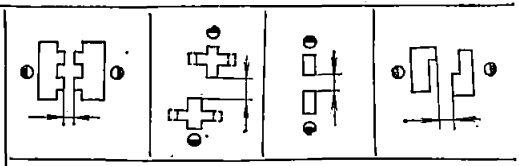
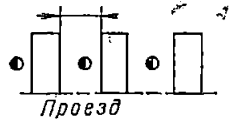
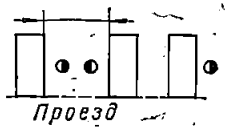
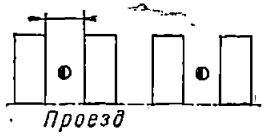
Виды станков			
	Размеры станков		
	мелкие	средние	крупные
	Наименьшее расстояние		
Токарные, револьверные патронные, зубофрезерные, зубострогальные, зубодолбежные, вертикально-протяжные, шлифовальные	700	800	1200
Горизонтальные токарные полуавтоматы и автоматы для штучных работ, продольно-фрезерные, продольно-строгальные, плоскошлифовальные с продольным столом двухстоечные	700	800	1200
Вертикальные многошпиндельные токарные полуавтоматы, карусельно-токарные	—	800	1200
Вертикально-сверлильные, горизонтально-и вертикально-фрезерные	700	700	1200
Радиально-сверлильные	—	700	1200
Поперечно-строгальные	700	700	—

Таблица 47. Расстояние между станками при поперечном расположении их к проезду или проходу, мм

Схемы расположения станков	Эскиз	Размеры станков		
		мелкие	средние	крупные
Станки расположены «в затылок»		1300	1500	2000
Каждый станок обслуживается одним рабочим		2000	2500	3000
Два станка обслуживает один рабочий		1300	1500	—

диаметром 500 мм (в масштабе), половину которого заштриховывают; часть кружка, обращенная к станку, остается светлой.

Расстояния от элементов здания до станков приведены в табл. 44.

Расстояния между станками вдоль линии их расположения (по фронту) приведены в табл. 45.

Расстояния между тыльными сторонами станков приведены в табл. 46.

Расстояния между станками при поперечном расположении их приведены в табл. 47.

Ширина прохода или проезда между станками регламентируется в зависимости от характера движения — одностороннего или двустороннего, а также от вида транспорта.

Так, при расположении проходов или проездов между тыльными или боковыми сторонами станков при одностороннем движении и транспортировке электротележками ширина проезда должна быть не менее 1700 мм, а при двустороннем — не менее 3000 мм.

При расположении проходов или проездов между фронтами станков при тех же условиях в первом случае ширина проезда должна быть не менее 2600 мм, а во втором — не менее 3000 мм.

Несколько отличается расположение револьверных станков и автоматов для прутковой работы, а также протяжных, продольно-строгальных, продольно-фрезерных, горизонтально-расточных и других станков подобного типа. Эти станки в целях лучшего использования площади размещают под углом в 15...20° загрузочной стороной к проходу.

Широкое распространение в промышленности многостаночной работы внесло коррективы в расположение одновременно обслуживаемых станков. При многостаночной работе установка станков с учетом размещения органов их управления определяется наиболее удобным для рабочего положением при минимальной затрате времени на проходы его от станка к станку. В этих случаях станкам придают различное положение — непрямолинейное и не перпендикулярное оси пролета участка.

ЛИТЕРАТУРА

Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. Расчеты конструкций. Машгиз, 1960.

Ачкасов Н. А., Терган В. С. Технология точного приборостроения. «Высшая школа», 1973.

Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения. Машгиз, 1969.

Бойцов В. В. Механизация и автоматизация в мелкосерийном и серийном производстве. «Машиностроение», 1971.

Великанов К. М. Определение экономической эффективности вариантов механической обработки деталей. Машгиз, 1970.

Венгеровский Ю. Я., Данилевский В. В. Научно-технический прогресс и Единая система технологической подготовки производства. «Знание», 1975.

Гаврилов А. Н. и др. Автоматизация производственных процессов в приборо- и агрегатостроении. «Высшая школа», 1968.

Данилевский В. В. Автоматизация обработки сложных поверхностей. «Механизация и автоматизация производства», 1963, № 7.

Данилевский В. В. Автоматизация процессов обработки на универсальных станках. — В кн. «Технология машиностроения» № 12. ЦИНТИМАШ, 1961.

Danilevskij W. W. Automatisierung bei Bearbeitung von Oberflächen auf Vniversaldrehmachinen. Fertigungstechnik und Betrieb, № 8, 1963.

Danilevskij V. V. Automatizace obrábění sbazitých povrchů na univerzálních obraběcich strojich, Štrojirenská výroba, № 10, 1962, str. 517.

Danilevskij W. W. Gruppenbearbeitung auf Vniversaldrehma sehinen mit auswechselbaren schablonen. Fertigungstechnik und Betrieb, № 5, 1963.

Danilevskij V. V. Kopirovaci soustruzeni pomoci listkových (skupinových) Sablon Štrojirenská výroba, № 11, 1962, str. 580.

Danilevskij V. V. Laboratoriesan Manufacturing. Mir publichers. M, 1976. Engineering.

Данилевский В. В. Лабораторные работы по технологии машиностроения. «Высшая школа», 1971.

Danilevskiy V. V. Manufacturing Engineering, Mir publichers, M, 1973.

Данилевский В. В. Механизация и автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении. «Знание», 1972.

Данилевский В. В. Многопроходная и групповая обработка деталей гидравлическими следящими суппортами с применением лепестковых копиров. — В кн. «Технология машиностроения», № 2. ЦИНТИмаш, 1963.

Данилевский В. В., Наумкин В. С. Методические указания, программа, вопросы для самопроверки, контрольные задания и лабораторные работы по курсу «Технология машиностроения» Изд. ВЗИСИ, 1963.

Данилевский В. В. Определение эффективности автоматизации процессов обработки на универсальном оборудовании. «Механизация и автоматизация производства», 1963, № 1.

Данилевский В. В. Справочник молодого технолога-машиностроителя. Изд. 3-е. «Высшая школа», 1973.

Danilevskij V. V. Světová technicka literatúra o mechanizacia automatizaci vyroby, Automatizace, № 2, 1962, str. 44.

Danilevskij V. V. Technologickace predopoklady mechanizace a automatiz ve strojirenstvi, Štrojirenska výroba, № 12, 1961, str. 597.

Данилевский В. В. Технология машиностроения (общий курс). Изд. 3-е. «Высшая школа», 1972.

Демьянюк Ф. С. Технологические основы поточного и автоматизированного производства. Машгиз, 1964.

Дружинский И. А. Методы обработки сложных поверхностей на металлорежущих станках. Изд. 2-е. Машгиз, 1965.

Единая система технологической подготовки производства. Общие положения и правила. Издательство стандартов, 1975.

Каширин А. И. Технология машиностроения. Машгиз, 1949.

Ковáн В. М. Основы технологии машиностроения. Машгиз, 1965.

Корсаков В. С. Расчеты и конструирование приспособлений в машиностроении. «Машиностроение», 1972.

Корсаков В. С. Основы технологии машиностроения. «Высшая школа», 1974.

Кувшинский В. В. Автоматизация технологических процессов в машиностроении. «Машиностроение», 1972.

Малкин А. Я. Основы технологии механической обработки. Машгиз, 1961.

Maslov D., Danilevskij V., Sasov V. Engineering Manufacturing Processes in machine and assembly Shops. Foreign Longuages Publishing Hause, 1967.

Митрофанов С. Н. Научные основы технологической подготовки производства. Л., Машгиз, 1965.

Михалев С. Б. Автоматизация процессов подготовки производства. Минск, «Беларусь», 1973.

Основные проблемы и направления разработки единой системы технологической подготовки производства. Издательство стандартов, 1973.

Подураев В. Н. Обработка резанием с вибрациями. «Машиностроение», 1970.

Попилов Л. Я. Основы электротехнологии и новые ее разновидности. Л., «Машиностроение», 1971.

Соколовский А. П. Курс технологии машиностроения, т. I и II. Машгиз, 1949.

Соколовский А. П. Научные основы технологии машиностроения. Машгиз, 1955.

Сулизнов В. И. и др. Обработка деталей лучом лазера. «Машиностроение», 1969.

Тайц Б. А. Точность и контроль зубчатых колес. «Машиностроение», 1972.

Шубников К. В. Унифицированные переналаживаемые станочные приспособления. Л., «Машиностроение», 1973.

Александрийская
ОБЛАСТНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Гоголя

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие к четвертому изданию 3
Введение 4

Раздел первый
Основы проектирования технологических процессов

Глава I. *Производственный и технологический процессы* 8

§ 1. Определения и основные понятия 8
§ 2. Характеристика типов производства 10
§ 3. Концентрация и дифференциация технологического процесса 12

Глава II. *Точность обработки* 14

§ 4. Факторы, определяющие точность обработки 14
§ 5. Отклонения от формы и взаимного расположения плоских и цилиндрических поверхностей 14
§ 6. Точность станков, инструмента и приспособлений 21
§ 7. Жесткость системы станок — приспособление — инструмент — деталь 23
§ 8. Влияние на точность обработки температуры и других факторов 25
§ 9. Рассеивание размеров обрабатываемых заготовок и законы распределения размеров 27
§ 10. Расчетно-аналитический метод обеспечения точности обрабатываемых заготовок 28
§ 11. Статистический метод исследования точности обработки с построением точечных диаграмм 32
§ 12. Определение процента возможного брака по площади кривой распределения 35
§ 13. Размерный анализ 37

Глава III. *Качество поверхности* 42

§ 14. Определения и основные понятия 42
§ 15. Параметры оценки и измерение шероховатости поверхности 43

Стр.

§ 16. Влияние качества поверхности на эксплуатационные свойства деталей машин . . . 47
§ 17. Методы и средства оценки шероховатости поверхности . . . 48
§ 18. Зависимость шероховатости поверхностей и точности от видов обработки 53

Глава IV. *Базы и базирование* . . . 53

§ 19. Понятие о базах, их классификация и назначение . . . 53
§ 20. Основные схемы базирования . . . 57
§ 21. Погрешности базирования и закрепления обрабатываемой заготовки 60

Глава V. *Выбор заготовок* . . . 64

§ 22. Виды и способы изготовления заготовок . . . 64
§ 23. Основные требования к заготовкам . . . 81
§ 24. Предварительная обработка заготовок . . . 82

Глава VI. *Припуски на обработку* . . . 85

§ 25. Определения и основные понятия . . . 85
§ 26. Факторы, влияющие на величину припуска . . . 85
§ 27. Межоперационные припуски и допуски . . . 88

Глава VII. *Технологическая подготовка производства* . . . 92

§ 28. Основы организации и управления процессом технологической подготовки производства . . . 92
§ 29. Единая система технологической документации . . . 94
§ 30. Исходные данные для проектирования технологического процесса механической обработки . . . 98
§ 31. Техническое нормирование . . . 100
§ 32. Выбор режимов резания . . . 101

Глава VIII. *Технологичность конструкций изделий* . . . 104

§ 33. Понятие о технологичности и правила отработки конструкции изделия на технологичность . . . 104
§ 34. Технологическая рациональность конструктивных решений . . . 106
§ 35. Преемственность конструкции и конструктивных решений . . . 115

Глава IX. *Порядок проектирования технологических процессов обработки основных поверхностей деталей* . . . 116

§ 36. Исходные данные и последовательность технологических расчетов . . . 116
§ 37. Выбор технологической схемы обработки . . . 120

Глава X. *Методы и средства измерения основных поверхностей* . . . 123

§ 38. Контроль наружных и внутренних поверхностей тел вращения . . . 123
§ 39. Контроль углов и конусов . . . 124
§ 40. Контроль резьбы . . . 125
§ 41. Контроль отклонений формы и расположения поверхностей . . . 127
§ 42. Методы и средства измерения зубчатых колес . . . 131
§ 43. Механизация и автоматизация контроля . . . 133

Раздел второй

Основы проектирования приспособлений

Стр.

Глава XI. *Общие сведения о приспособлениях* 137

§ 44. Виды приспособлений 137
§ 45. Основные элементы приспособлений 140

Глава XII. *Установочные элементы приспособлений* 141

§ 46. Основные правила установки заготовок 141
§ 47. Виды установочных элементов приспособлений 143

Глава XIII. *Зажимные элементы приспособлений* 151

§ 48. Назначение зажимных элементов 151
§ 49. Виды зажимных элементов 152

Глава XIV. *Направляющие элементы приспособлений* 160

Глава XV. *Делительные и поворотные элементы приспособлений* 162

Глава XVI. *Корпуса приспособлений* 165

Глава XVII. *Механизированные приводы приспособлений* 167

§ 50. Пневматические приводы 168
§ 51. Пневмогидравлические и гидравлические приводы 174
Глава XVIII. *Универсально-сборные и наладочные приспособления* 179

Глава XIX. *Основы проектирования приспособлений* 184

Раздел третий

Методы обработки основных поверхностей

Глава XX. *Классификация объектов производства и типизация технологических процессов* 187

Глава XXI. *Обработка наружных поверхностей тел вращения (валов)* . . . 196
§ 52. Выбор метода обработки наружных поверхностей заготовок 196
§ 53. Токарная обработка 198
§ 54. Шлифовальная обработка 207
§ 55. Приспособления для токарных и шлифовальных работ 218
§ 56. Отделочные виды обработки 225

Глава XXII. *Обработка внутренних поверхностей тел вращения (отверстий)* 227

§ 57. Виды отверстий и способы их обработки 227
§ 58. Обработка на сверлильных станках 229
§ 59. Обработка на расточных станках 235
§ 60. Обработка на шлифовальных станках 237
§ 61. Обработка на протяжных станках 239

Стр.

§ 62. Приспособления для сверлильных и расточных работ 241
§ 63. Приспособления для протяжных работ 253
§ 64. Отделочные виды обработки отверстий 256

Глава XXIII. *Обработка на револьверных и карусельных станках* 259

§ 65. Обработка на револьверных станках 259
§ 66. Обработка на токарно-карусельных и токарно-лобовых станках 261

Глава XXIV. *Образование резьбовых поверхностей* 263

§ 67. Виды резьб, их назначение и классификация 263
§ 68. Нарезание наружной резьбы 263
§ 69. Нарезание внутренней резьбы 267
§ 70. Фрезерование наружной и внутренней резьб 269
§ 71. Накатывание резьбы 270

Глава XXV. *Обработка плоских поверхностей* 273

§ 72. Технологические предпосылки выбора метода обработки плоских поверхностей 273
§ 73. Обработка на строгальных и долбежных станках 276
§ 74. Обработка на фрезерных станках 278
§ 75. Приспособления для фрезерных работ 280
§ 76. Обработка на шлифовальных станках 291
§ 77. Обработка на протяжных станках 292

Глава XXVI. *Обработка сложных поверхностей* 294

§ 78. Виды сложных поверхностей и их классификация 294
§ 79. Методы обработки сложных поверхностей 296

Глава XXVII. *Обработка зубчатых поверхностей* 306

§ 80. Виды зубчатых колес, их назначение и характеристика 306
§ 81. Основные методы обработки зубьев цилиндрических и конических колес 311
§ 82. Основные методы обработки зубьев червячных пар 325
§ 83. Отделочные виды обработки зубчатых колес 329

Глава XXVIII. *Обработка шлицевых поверхностей* 333

§ 84. Виды и назначение шлицевых соединений 333
§ 85. Методы обработки элементов шлицевых валов и втулок 335

Глава XXIX. *Техника безопасности при работе на металлорежущих станках* 339

Глава XXX. *Особые методы обработки* 343

§ 86. Обработка металла давлением в холодном состоянии 343
§ 87. Электрическая обработка 353
§ 88. Балансировка и подгонка деталей машин 360
§ 89. Особенности и методы обработки деталей из жаропрочных материалов и термостойких пластмасс 364

Стр.

Глава XXXI. *Экономическая оценка технологических процессов* 371

§ 90. Основные зависимости для определения себестоимости изготовления деталей 371
§ 91. Сравнение вариантов технологического процесса 372

Глава XXXII. *Автоматизация проектирования и управления технологическими процессами* 374

§ 92. Автоматизация проектирования технологических процессов 374
§ 93. Автоматизация управления технологическими процессами 378
§ 94. Проектирование процесса обработки на станках с ЧПУ 380

Раздел четвертый

Методы изготовления типовых деталей машин

Глава XXXIII. *Обработка корпусных деталей* 387

§ 95. Общие сведения 387
§ 96. Механическая обработка корпусных деталей 388
§ 97. Обработка корпуса редуктора 391

Глава XXXIV. *Обработка валов* 396

§ 98. Общие сведения 396
§ 99. Механическая обработка шпинделей 398

Глава XXXV. *Обработка зубчатых колес* 402

§ 100. Общие сведения 402
§ 101. Обработка цилиндрических зубчатых колес 405
§ 102. Обработка конических зубчатых колес 414
§ 103. Обработка червячных пар 420

Раздел пятый

Технология сборки машин

Глава XXXVI. *Основные понятия о сборке* 428

§ 104. Изделие и его элементы. Понятия о сборочных процессах 428
§ 105. Технологическая организация процессов сборки 430

Глава XXXVII. *Методы сборки* 432

§ 106. Технологическая классификация методов сборки 432
§ 107. Подготовка деталей к сборке 440
§ 108. Технологический контроль и испытание сборочных единиц и машин . . . 444
§ 109. Окраска машин и консервация 446

Глава XXXVIII. *Классификация соединений, выполняемых при сборке машин и механизмов* 447

Стр.

Глава XXXIX. *Технологические схемы сборки* 448

Глава XL. *Организационные формы сборки машин* 453

Глава XLI. *Механизация и автоматизация сборочных процессов* 455

Раздел шестой

Основы проектирования участков механических цехов

Глава XLII. *Исходные данные для проектирования участка механического цеха* 458

Глава XLIII. *Методы проектирования участков механических цехов* . . . 465

Литература 472

Владимир Викторович Данилевский

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор Н. Н. Ещенко
Художник В. З. Казакевич
Художественный редактор Н. К. Гуторов
Технический редактор Н. А. Битюкова
Корректор Г. И. Кострикова

ИБ № 659

Т-13305. Сдано в набор 21/II 1977 г. Подп. к печати 28/VI 1977 г. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 3. Объем 30 печ. л. Усл. п. л. 30. Уч.-изд. л. 31,56. Изд. № ОТ—263/75. Тираж 90 000 экз. Заказ № 1111. Цена 1 р.

План выпуска литературы издательства «Высшая школа» (вузы и техникумы) на 1977 г. Позиция № 216

Издательство «Высшая школа», Москва, К-51, Неглинная ул., д. 29/14

Ордена Трудового Красного Знамени Ленинградское производственно-техническое объединение «Печатный Двор» имени А. М. Горького Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 197136, Ленинград, П-136, Гатчинская ул., 26.